Нацыянальная акадэмія навук Беларусі
Інстытут гісторыі

АРХЕАЛОГІЯ БЕЛАРУСІ

У чатырох тамах

Нацыянальная Акадэмія навук Беларусі
Інстытут гісторыі

АРХЕАЛОГІЯ БЕЛАРУСІ

Другі том

Жалезны век і ранняе сярэднявечча

Мінск
"Беларуская навука"
1999

УДК 902(476)
ББК 63.4(4Беи)
А 87

Н а в у к о в ы я р э д а к т а р ы т о м а:
В. І. Шадыра, В. С. Вяргей

Р э ц э н з е н т ы:
кандыдаты гістарычных навук Л. У. Дучыц, Л. У. Калядзінскі

А ў т а р ы:
А. А. ЕГАРЭЙЧАНКА, В. І. ШАДЫРА, В. С. ВЯРГЕЙ, М. Ф. ГУРЫН, М. І. ЛАШАНКОЎ, А. А. МАКУШНІКАЎ, А М. МЯДЗВЕДЗЕЎ, С. Я. РАСАДЗІН, Г. В. ШТЫХАЎ

ISBN 985-08-0089-5

УСТУП

У гэтым томе «Археалогіі Беларусі» на аснове археалагічных крыніц з выкарыстаннем, дзе гэта магчыма, дадзеных іншых навук асвятляецца гістарычнае развіццё старажытнага насельніцтва, якое насяляла тэрыторыю Беларусі ў эпоху жалеза (VIII—VII стст. да н. э. — IV—V стст. н. э.) і ранняга сярэднявечча (V—VI стст. — VIII—IX стст. н. э.). Пачатак жалезнага веку звязваюць з распаўсюджаннем металургіі жалеза і вырабаў з яго. Навыкамі вытворчасці і апрацоўкі жалеза ў першую чаргу авалодала насельніцтва Паўднёвай Беларусі, што адбывалася ў другой чвэрці 1-га тысячагоддзя да н. э., і толькі ў яго другой палове жалеза стала асноўным матэрыялам для вырабу прылад працы і зброі ў плямёнаў, якія насялялі цэнтральную і паўночную частку яе тэрыторыі. Шырокае распаўсюджанне на Беларусі балотных і азёрных руд, адносная прастата здабычы жалеза ў сырадутных домніцах садзейнічалі яго паўсюднаму пашырэнню. З'яўленне жалеза ў старажытных плямёнаў на тэрыторыі нашай краіны стала важнай вехай у іх гісторыі, яно значна паўплывала на характар матэрыяльнай культуры і гаспадаркі, стварыла вялікія магчымасці для новых тэхналагічных ідэй, практычна зраўняла шанцы ўсіх рэгіёнаў Еўропы на прагрэс у галіне вытворчасці. Асновай комплекснай гаспадаркі насельніцтва жалезнага веку сталі земляробства і жывёлагадоўля, узровень якіх дазволіў забяспечваць не толькі пэўны пражытачны мінімум, але і ствараць запасы сельскагаспадарчай прадукцыі, што стымулявала развіццё рамеснай вытворчасці, абмену і гандлю. Рост маёмасці ў асноўных груп насельніцтва прыводзіў да войнаў з мэтаю грабяжу і заняволення. Каб абараніць накопленае дабро і жыццё суродзічаў ад прагных да лёгкай здабычы суседзяў, насельніцтва ўмацоўвае свае паселішчы, абносіць іх землянымі валамі і равамі. Так узнікаюць гарадзішчы, якія становяцца асноўным тыпам паселішчаў на працягу амаль усёй эпохі жалеза. Сукупнасць археалагічных дадзеных дазваляе сцвярджаць, што старажытнае грамадства ў разглядаемы перыяд знаходзілася на стадыі разлажэння родавага ладу. Рост вытворчых магчымасцей комплекснай гаспадаркі, павелічэнне абмену, ваенная здабыча садзейнічалі ўзмацненню ролі асобных сем'яў і адасабленню родаплемяннной вярхушкі. Нарастаючыя працэсы стратыфікацыі грамадства прыводзілі да ўскладнення сацыяльных адносін і сувязей. Эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча характарызуюцца складанымі этнакультурнымі працэсамі, якія адлюстраваліся ў значных перамяшчэннях плямёнаў, узаемадзеяннях розных этнічных груповак, знікненні адных і з'яўленні іншых археалагічных культур. Насельніцтва Беларусі не было ізаляваным, мела кантакты і сувязі з блізкімі і далёкімі народамі, адчувала і ўспрымала культурныя імпульсы, якія надыходзілі з боку Прычарнамор'я і Скіфіі, гальштацка-латэнскіх і правінцыяльна-рымскіх культур, Прыбалтыкі, Волга-Окскага рэгіёна і інш.

УСТУП

У гэтым томе «Археалогіі Беларусі» на аснове археалагічных крыніц з выкарыстаннем, дзе гэта магчыма, дадзеных іншых навук асвятляецца гістарычнае развіццё старажытнага насельніцтва, якое насяляла тэрыторыю Беларусі ў эпоху жалеза (VIII—VII стст. да н. э. — IV—V стст. н. э.) і ранняга сярэднявечча (V—VI стст. — VIII—IX стст. н. э.). Пачатак жалезнага веку звязваюць з распаўсюджаннем металургіі жалеза і вырабаў з яго. Навыкамі вытворчасці і апрацоўкі жалеза ў першую чаргу авалодала насельніцтва Паўднёвай Беларусі, што адбывалася ў другой чвэрці 1-га тысячагоддзя да н. э., і толькі ў яго другой палове жалеза стала асноўным матэрыялам для вырабу прылад працы і зброі ў плямёнаў, якія насялялі цэнтральную і паўночную частку яе тэрыторыі. Шырокае распаўсюджанне на Беларусі балотных і азёрных руд, адносная прастата здабычы жалеза ў сырадутных домніцах садзейнічалі яго паўсюднаму пашырэнню. З'яўленне жалеза ў старажытных плямёнаў на тэрыторыі нашай краіны стала важнай вехай у іх гісторыі, яно значна паўплывала на характар матэрыяльнай культуры і гаспадаркі, стварыла вялікія магчымасці для новых тэхналагічных ідэй, практычна зраўняла шанцы ўсіх рэгіёнаў Еўропы на прагрэс у галіне вытворчасці. Асновай комплекснай гаспадаркі насельніцтва жалезнага веку сталі земляробства і жывёлагадоўля, узровень якіх дазволіў забяспечваць не толькі пэўны пражытачны мінімум, але і ствараць запасы сельскагаспадарчай прадукцыі, што стымулявала развіццё рамеснай вытворчасці, абмену і гандлю. Рост маёмасці ў асноўных груп насельніцтва прыводзіў да войнаў з мэтаю грабяжу і заняволення. Каб абараніць накопленае дабро і жыццё суродзічаў ад прагных да лёгкай здабычы суседзяў, насельніцтва ўмацоўвае свае паселішчы, абносіць іх землянымі валамі і равамі. Так узнікаюць гарадзішчы, якія становяцца асноўным тыпам паселішчаў на працягу амаль усёй эпохі жалеза. Сукупнасць археалагічных дадзеных дазваляе сцвярджаць, што старажытнае грамадства ў разглядаемы перыяд знаходзілася на стадыі разлажэння родавага ладу. Рост вытворчых магчымасцей комплекснай гаспадаркі, павелічэнне абмену, ваенная здабыча садзейнічалі ўзмацненню ролі асобных сем'яў і адасабленню родаплемяннной вярхушкі. Нарастаючыя працэсы стратыфікацыі грамадства прыводзілі да ўскладнення сацыяльных адносін і сувязей. Эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча характарызуюцца складанымі этнакультурнымі працэсамі, якія адлюстраваліся ў значных перамяшчэннях плямёнаў, узаемадзеяннях розных этнічных груповак, знікненні адных і з'яўленні іншых археалагічных культур. Насельніцтва Беларусі не было ізаляваным, мела кантакты і сувязі з блізкімі і далёкімі народамі, адчувала і ўспрымала культурныя імпульсы, якія надыходзілі з боку Прычарнамор'я і Скіфіі, гальштацка-латэнскіх і правінцыяльна-рымскіх культур, Прыбалтыкі, Волга-Окскага рэгіёна і інш.

УДК 902(476)
ББК 63.4(4Беи)
А 87

Навуковыя рэдактары тома:
В. І. Шадыра, В. С. Вяргей

Рэцэнзенты:
кандыдаты гістарычных навук Л. У. Дучыц, Л. У. Калядзінскі

Аўтары:
А. А. ЕГАРЭЙЧАНКА, В. І. ШАДЫРА, В. С. ВЯРГЕЙ, М. Ф. ГУРЫН, М. І. ЛАШАНКОЎ, А. А. МАКУШНІКАЎ, А. М. МЯДЗВЕДЗЕЎ, С. Я. РАСАДЗІН, Г. В. ШТЫХАЎ

ISBN 985-08-0089-5

прыемаў ад моманту здабычы руды да вырабу жалезных прадметаў Не менш значным вынікам гэтых даследаванняў стала аргументацыя мясцовага характару чорнай металургіі У працах археолагаў міжваеннага перыяду абгрунтавана палажэнне, што плямены эпохі жалеза — гэта добра адаптаванае да прыродных умоў лясной зоны аседлае насельніцтва, асновай гаспадаркі якога стала земляробства і жывелагадоўля У працэсе разгляду пытанняў этнічнай гісторыі выказаны меркаванні аб прыналежнасці помнікаў Паўночнай і Сярэдняй Беларусі літоўскаму (балцкаму) насельніцтву (Ляўданскі, 1930 С 336, Дубінскі, 1927 С 363), а славяне з'явіліся на гэтай тэрыторыі толькі ў канцы 1-га тысячагоддзя н э Вынікі прац невялікай групы даваеннага пакалення археолагаў у сэнсе назапашвання археалагічных матэрыялаў, іх гістарычнай інтэрпрэтацыі і ўводу ў навуковае абарачэнне ўражваюць Безумоўна, з іх высокім прафесійным патэнцыялам яны маглі б зрабіць яшчэ вельмі і вельмі шмат, але лес не спрыяў ім Чырвонае кола палітычных рэпрэсій спыніла іх пленную працу ў самым росквіце Усе археолагі якія працавалі ў Акадэміі навук Беларусі і вывучалі праблемы эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча, загінулі ў 1937 г а большасць краязнаўцаў былі падвергнуты пераследу і вымушаны спыніць сваю працу (Вяргей, 1992)

Пасля другой сусветнай вайны вывучэнне гісторыі насельніцтва эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча пастуова аднаўляецца У 1950—1960-я гады распачынаюць сістэматычныя палявыя даследаванні супрацоўнікі і аспіранты Інстытута гісторыі Акадэміі навук Беларусі А Р Мітрафанаў, Г В Штыхаў, Л Д Побаль, В Б Нікіціна (Караткевіч), К П Шут У гэты ж час на тэрыторыі рэспублікі раскопкі і разведкі праводзілі навукоўцы з археалагічных устаноў Ленінграда і Масквы — П М Траццякоў, Ю У Кухарэнка, В М Мельнікоўская, Э А Сымановіч, К В Каспарава, І П Русанава, Ф Д Гурэвіч, Л В Аляксееў

Пасляваенны час характарызуецца значным ростам маштабаў палявых даследаванняў, пашырэннем крыніцазнаўчай базы, удасканаленнем методыкі раскопачных прац Сістэматызацыя выяўленых матэрыялаў адбывалася шляхам вылучэння і апісання археалагічных культур, якія разглядаліся як пэўны этап сацыяльна-эканамічнай і этнічнай гісторыі старажытнага насельніцтва Здейснена археолага-культурная стратыфікацыя мноства крыніц, прасочаны змены і развіцце археалагічных культур на Беларусі ў 1-м тысячагоддзі да н э — 1-м тысячагоддзі н э Арэалы большасці даследуемых культур выходзілі за сучасныя межы Беларусі і разуменне іх спецыфікі стала магчымым толькі з улікам распрацовак археолагаў суседніх і больш далекіх краін У выніку інтэнсіўнай і пленнай працы ў 1950—1970-х гадах былі вылучаны і ў рознай ступені ахарактарызаваны старажытнасці амаль усіх вядомых зараз на тэрыторыі Беларусі археалагічных культур жалезнага веку і ранняга сярэднявечча, а менавіта мілаградскай і зарубінецкай на поўдні Беларусі (Третьяков, 1959 С 119—153, Кухаренко, 1961, 1964, Мельниковская, 1967, Поболь, 1971—1974, Каспарова, 1969 С 131—168, Яна ж, 1976 С 128—140, Яна ж, 1981), культуры штрыхаванай керамікі (Митрофанов, 1955, 1978, Гуревич, 1962), днепра-дзвінскай (Митрофанов, 1955, Алексеев, 1959 С 273—315, Шут, 1966 С 168—182, Ён жа, 1969 С 262—289, Штыхов, 1971, Шміт, 1963, Ен жа, 1972 С 102—116, Ён жа, 1975), паморскай (Кухаренко, 1961, Никитина, 1964 С 43—47, Яна ж, 1965 С 194—205), кіеўскай (Поболь, 1969, Ён жа, 1974 С 159—180), вельбарскай (Кухаренко, 1961, 1980), калочынскай (Сымонович, 1963 С 97—137, Ен жа, 1975

УСТУП

У гэтым томе «Археалогіі Беларусі» на аснове археалагічных крыніц з выкарыстаннем, дзе гэта магчыма, дадзеных іншых навук асвятляецца гістарычнае развіццё старажытнага насельніцтва, якое насяляла тэрыторыю Беларусі ў эпоху жалеза (VIII—VII стст. да н. э. — IV—V стст. н. э.) і ранняга сярэднявечча (V—VI стст. — VIII—IX стст. н. э.). Пачатак жалезнага веку звязваюць з распаўсюджаннем металургіі жалеза і вырабаў з яго. Навыкамі вытворчасці і апрацоўкі жалеза ў першую чаргу авалодала насельніцтва Паўднёвай Беларусі, што адбывалася ў другой чвэрці 1-га тысячагоддзя да н. э., і толькі ў яго другой палове жалеза стала асноўным матэрыялам для вырабу прылад працы і зброі ў плямёнаў, якія насялялі цэнтральную і паўночную частку яе тэрыторыі. Шырокае распаўсюджанне на Беларусі балотных і азёрных руд, адносная прастата здабычы жалеза ў сырадутных домніцах садзейнічалі яго паўсюднаму пашырэнню. З'яўленне жалеза ў старажытных плямёнаў на тэрыторыі нашай краіны стала важнай вехай у іх гісторыі, яно значна паўплывала на характар матэрыяльнай культуры і гаспадаркі, стварыла вялікія магчымасці для новых тэхналагічных ідэй, практычна зраўняла шанцы ўсіх рэгіёнаў Еўропы на прагрэс у галіне вытворчасці. Асновай комплекснай гаспадаркі насельніцтва жалезнага веку сталі земляробства і жывёлагадоўля, узровень якіх дазволіў забяспечваць не толькі пэўны пражытачны мінімум, але і ствараць запасы сельскагаспадарчай прадукцыі, што стымулявала развіццё рамеснай вытворчасці, абмену і гандлю. Рост маёмасці ў асноўных груп насельніцтва прыводзіў да войнаў з мэтаю грабяжу і заняволення. Каб абараніць накопленае дабро і жыццё суродзічаў ад прагных да лёгкай здабычы суседзяў, насельніцтва ўмацоўвае свае паселішчы, абносіць іх землянымі валамі і равамі. Так узнікаюць гарадзішчы, якія становяцца асноўным тыпам паселішчаў на працягу амаль усёй эпохі жалеза. Сукупнасць археалагічных дадзеных дазваляе сцвярджаць, што старажытнае грамадства ў разглядаемы перыяд знаходзілася на стадыі разлажэння родавага ладу. Рост вытворчых магчымасцей комплекснай гаспадаркі, павелічэнне абмену, ваенная здабыча садзейнічалі ўзмацненню ролі асобных сем'яў і адасабленню родаплемяннай вярхушкі. Нарастаючыя працэсы стратыфікацыі грамадства прыводзілі да ўскладнення сацыяльных адносін і сувязей. Эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча характарызуюцца складанымі этнакультурнымі працэсамі, якія адлюстраваліся ў значных перамяшчэннях плямёнаў, узаемадзеяннях розных этнічных груповак, знікненні адных і з'яўленні іншых археалагічных культур. Насельніцтва Беларусі не было ізаляваным, мела кантакты і сувязі з блізкімі і далёкімі народамі, адчувала і ўспрымала культурныя імпульсы, якія надыходзілі з боку Прычарнамор'я і Скіфіі, гальштацка-латэнскіх і правінцыяльна-рымскіх культур, Прыбалтыкі, Волга-Окскага рэгіёна і інш.

прыемаў ад моманту здабычы руды да вырабу жалезных прадметаў Не менш значным вынікам гэтых даследаванняў стала аргументацыя мясцовага характару чорнай металургіі У працах археолагаў міжваеннага перыяду абгрунтавана палажэнне, што плямены эпохі жалеза — гэта добра адаптаванае да прыродных умоў лясной зоны аседлае насельніцтва, асновай гаспадаркі якога стала земляробства і жывелагадоўля У працэсе разгляду пытанняў этнічнай гісторыі выказаны меркаванні аб прыналежнасці помнікаў Паўночнай і Сярэдняй Беларусі літоўскаму (балцкаму) насельніцтву (Ляўданскі, 1930 С 336, Дубінскі, 1927 С 363), а славяне з'явіліся на гэтай тэрыторыі толькі ў канцы 1-га тысячагоддзя н э Вынікі прац невялікай групы даваеннага пакалення археолагаў у сэнсе назапашвання археалагічных матэрыялаў, іх гістарычнай інтэрпрэтацыі і ўводу ў навуковае абарачэнне ўражваюць Безумоўна, з іх высокім прафесійным патэнцыялам яны маглі б зрабіць яшчэ вельмі і вельмі шмат, але лес не спрыяў ім Чырвонае кола палітычных рэпрэсій спыніла іх пленную працу ў самым росквіце Усе археолагі якія працавалі ў Акадэміі навук Беларусі і вывучалі праблемы эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча, загінулі ў 1937 г а большасць краязнаўцаў былі падвергнуты праследу і вымушаны спыніць сваю працу (Вяргей, 1992)

Пасля другой сусветнай вайны вывучэнне гісторыі насельніцтва эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча пастулова аднаўляецца У 1950—1960-я гады распачынаюць сістэматычныя палявыя даследаванні супрацоўнікі і аспіранты Інстытута гісторыі Акадэміі навук Беларусі А Р Мітрафанаў, Г В Штыхаў, Л Д Побаль, В Б Нікіціна (Караткевіч), К П Шут У гэты ж час на тэрыторыі рэспублікі раскопкі і разведкі праводзілі навукоўцы з археалагічных устаноў Ленінграда і Масквы — П М Траццякоў, Ю У Кухарэнка, В М Мельнікоўская, Э А Сымановіч, К В Каспарава, І П Русанава, Ф Д Гурэвіч, Л В Аляксееў

Пасляваенны час характарызуецца значным ростам маштабаў палявых даследаванняў, пашырэннем крыніцазнаўчай базы, удасканаленнем методыкі раскопачных прац Сістэматызацыя выяўленых матэрыялаў адбывалася шляхам вылучэння і апісання археалагічных культур, якія разглядаліся як пэўны этап сацыяльна-эканамічнай і этнічнай гісторыі старажытнага насельніцтва Здейснена археолага-культурная стратыфікацыя мноства крыніц, прасочаны змены і развіцце археалагічных культур на Беларусі ў 1-м тысячагоддзі да н э — 1-м тысячагоддзі н э Арэалы большасці даследуемых культур выходзілі за сучасныя межы Беларусі і разуменне іх спецыфікі стала магчымым толькі з улікам распрацовак археолагаў суседніх і больш далёкіх краін У выніку інтэнсіўнай і пленнай працы ў 1950—1970-х гадах былі вылучаны і ў рознай ступені ахарактарызаваны старажытнасці амаль усіх вядомых зараз на тэрыторыі Беларусі археалагічных культур жалезнага веку і ранняга сярэднявечча, а менавіта мілаградскай і зарубінецкай на поўдні Беларусі (Третьяков, 1959 С 119—153, Кухаренко, 1961, 1964, Мельниковская, 1967, Поболь, 1971—1974, Каспарова, 1969 С 131—168, Яна ж, 1976 С 128—140, Яна ж, 1981), культуры штрыхаванай керамікі (Митрофанов, 1955, 1978, Гуревич, 1962), днепра-дзвінскай (Митрофанов, 1955, Алексеев, 1959 С 273—315, Шут, 1966 С 168—182, Ён жа, 1969 С 262—289, Штыхов, 1971, Шміт, 1963, Ен жа, 1972 С 102—116, Ён жа, 1975), паморскай (Кухаренко, 1961, Никитина, 1964 С 43—47, Яна ж, 1965 С 194—205), кіеўскай (Поболь, 1969, Ён жа, 1974 С 159—180), вельбарскай (Кухаренко, 1961, 1980), калочынскай (Сымонович, 1963 С 97—137, Ен жа, 1975

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навуглярожданне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навуглярожданы прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навуглярожданне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавуглеродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

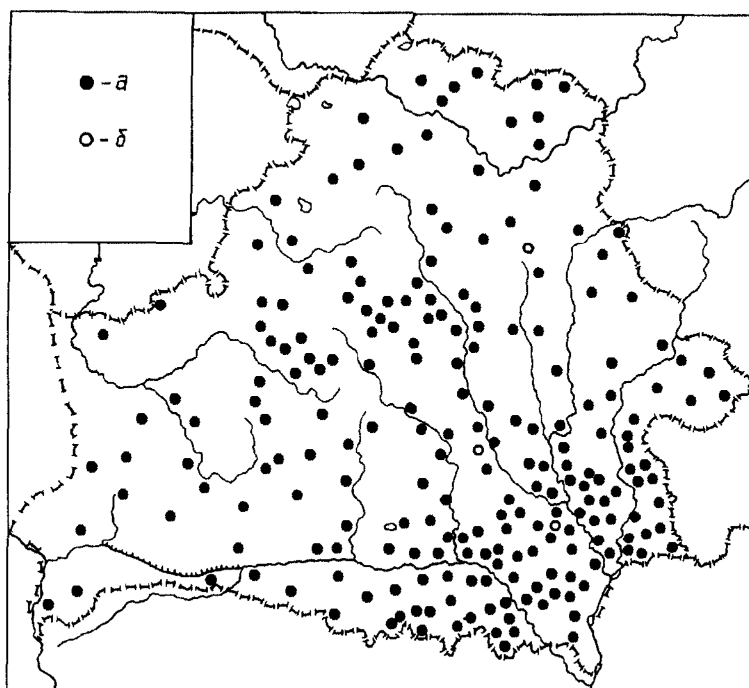
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

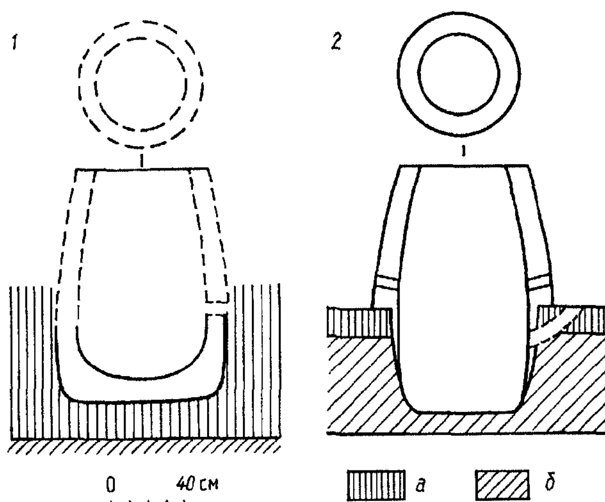
Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

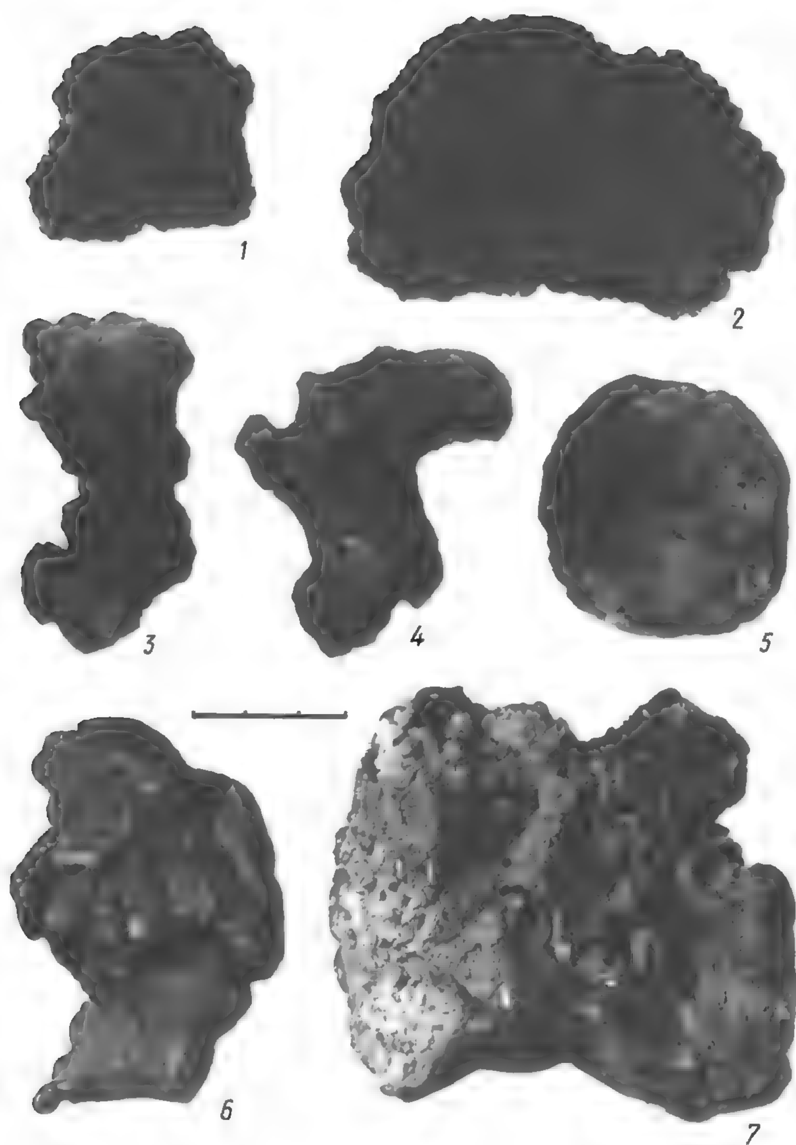
Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,



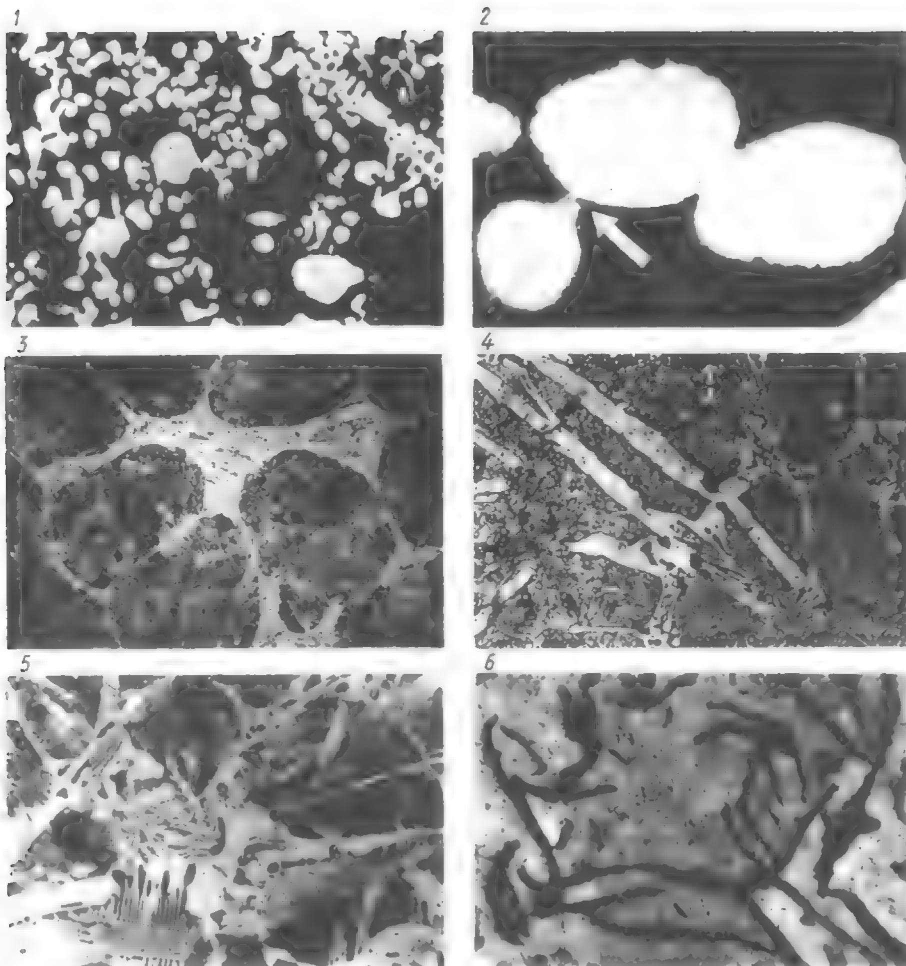
Мал 1 Карта-схема Беларусі з нанясеннем радовішчаў балотных руд Умоўныя абазначэнні а — буры жалязняк (ліманіт), б — гематыт Складзена на падставе няпоўных даных геалогіі (Блиодухо, 1952, Праца 1928, Тарановіч, 1935) а таксама археалогіі тапанімікі



Мал 2 Рэканструкцыі сырадутных печаў жалезнага веку (а — культурны пласт, б — мацярык), выяўленых на тэрыторыі Беларусі і Польшчы 1 — гарадзішча Кімія (па А М Ляўданскаму), 2 — свентакшыскі металургічны цэнтр (па К Бяленіну)

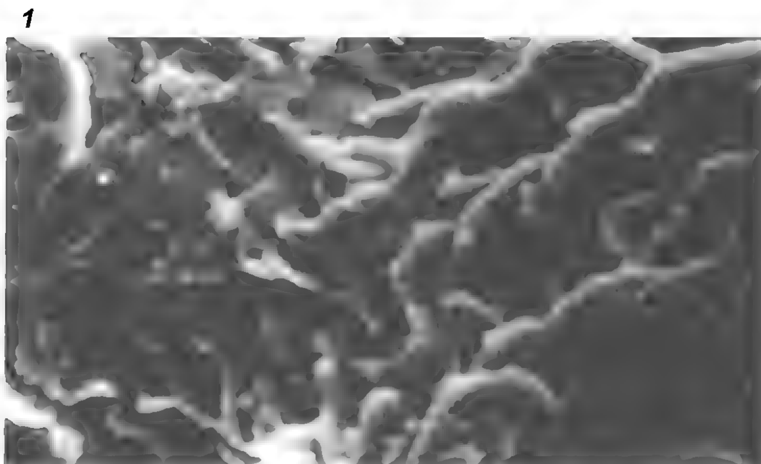


Мал. 3. Кавалкі руды з Лісак і Кажан-Гарадка (1, 2), крыцы з Пятровіч і Тайманава (3, 4) паўфабрыкат з Крынічак (4), кавалкі шлаку з Тайманава (6, 7)

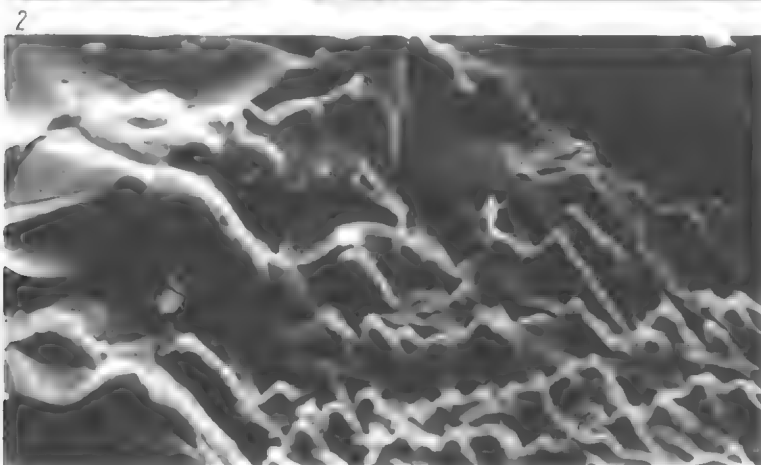


Мал. 4. Мікрачасцінкі жалеза ў шлаку з Дзіўнага (х 100), «масткі» паміж мікрачасцінкамі (2, х 1000), ледзебурытнае запаўненне паміж перлітнымі часцінкамі (3, х 320), ферыт, перліт, цэменціт у крыцы з Тайманава (4, х 300), перліт, цэменціт, ледзебурыт (5, х 450), перліт ляпёсткі графіту (6, х 160)

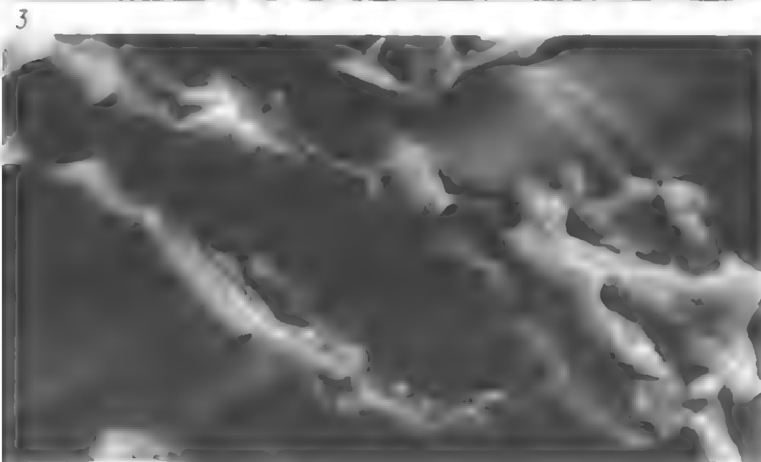
1



2



3



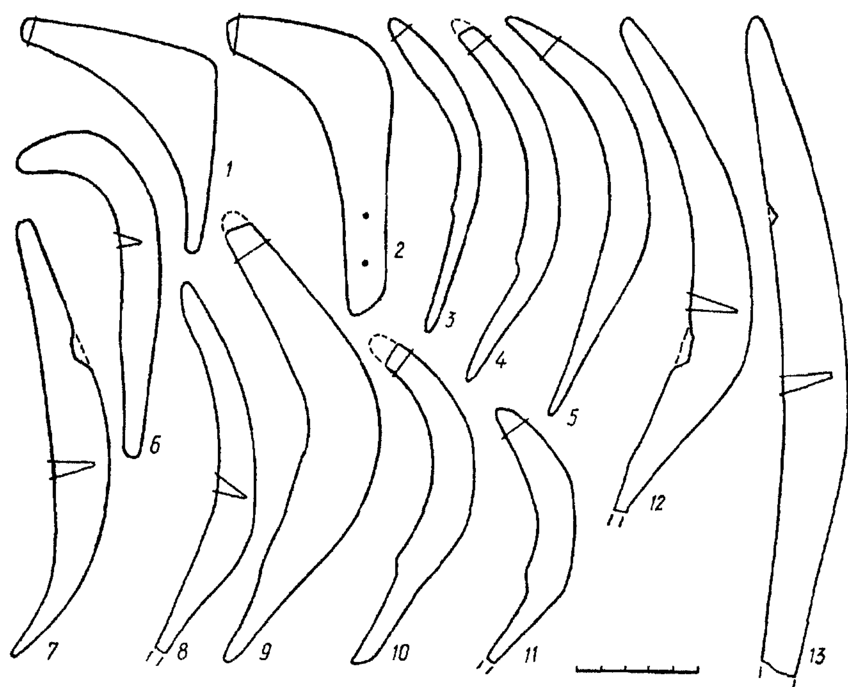
Мал. 5. Фрактаграмы зломаў у крыцах э Тайманава, зробленыя на электронным мікраскопе. Павелічэнні: 1 — x 5000, 2-x 2500, 3-x 10000

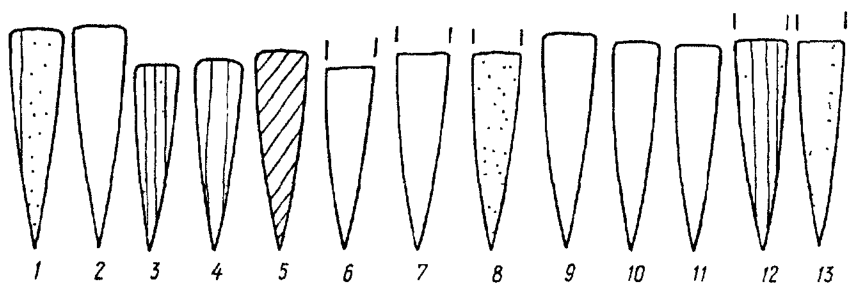
Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза пасяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных валямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-





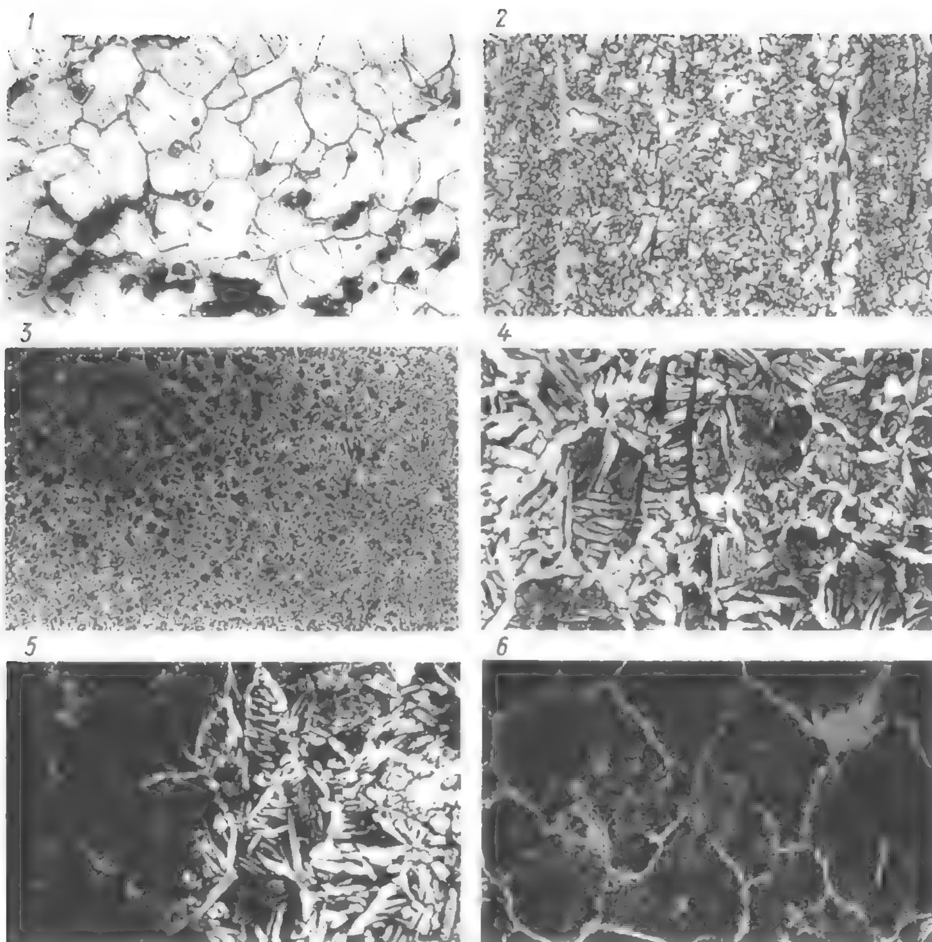
Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выцiснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

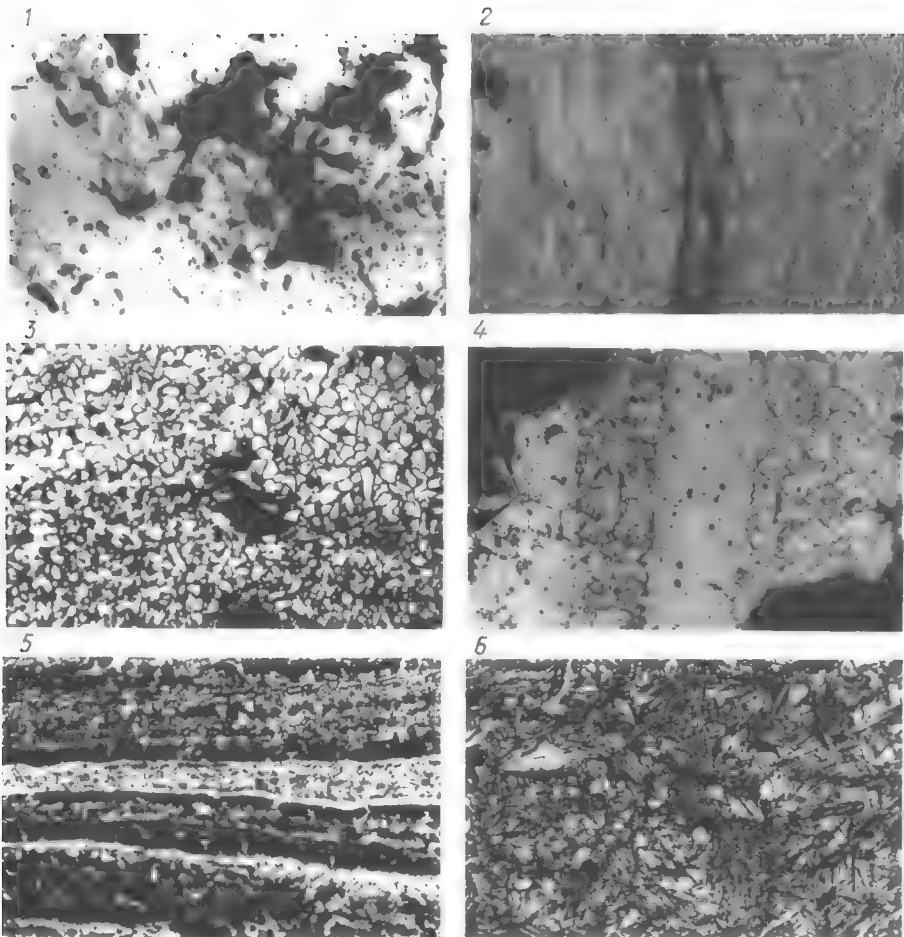
Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



Мал. 9. Мікраструктуры кавальскіх вырабаў: 1 — нож з селішча Абідня, ферыт, уключэнні шлаку, х 200; 2 — нож з гарадзішча Ліскі, ферыт, перліт, уключэнні шлаку, х 200; 3 — нож з селішча Чэрнічы, ферыт, перліт, нераўнамернае размеркаванне вугляроду, х 100; 4 — сякера-кельт з Чапліна, ферыт, перліт, уключэнні шлаку, відманштэтава структура, х 200; 5 — шпілька цвікападобная з гарадзішча Ліскі, ферыт, перліт, нераўнамернае размеркаванне вугляроду, месцамі відманштэтава структура, х 200; 6 — сякера са Старога Краснага, перліт, цэменціт на межах крысталітаў з аднаго боку ляза, х 500



Мал. 10. Мікраструктуры кавальскіх вырабаў: 1 — кальцо з гарадзішча Янава, ферыт, шмат буйных уключэнняў шлаку, х 100; 2 — нож з гарадзішча Падгор'е, дрэннае шво (у цэнтры), дэфармаваныя ферытныя крысталіты, х 200; 3 — нож з селішча Лемяшэвічы, ферыт, перліт, укпючэнні шлаку, х 200; 4 — серп з гарадзішча Мыслі, псеўдапакетная структура, х 250; 5 — выраб невядомага прызначэння з гарадзішча Кажан-Гарадок, псеўдапакетная структура, х 100; 6 — фрагмент прылады з селішча Абідня, мартэнсіт, х 500

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

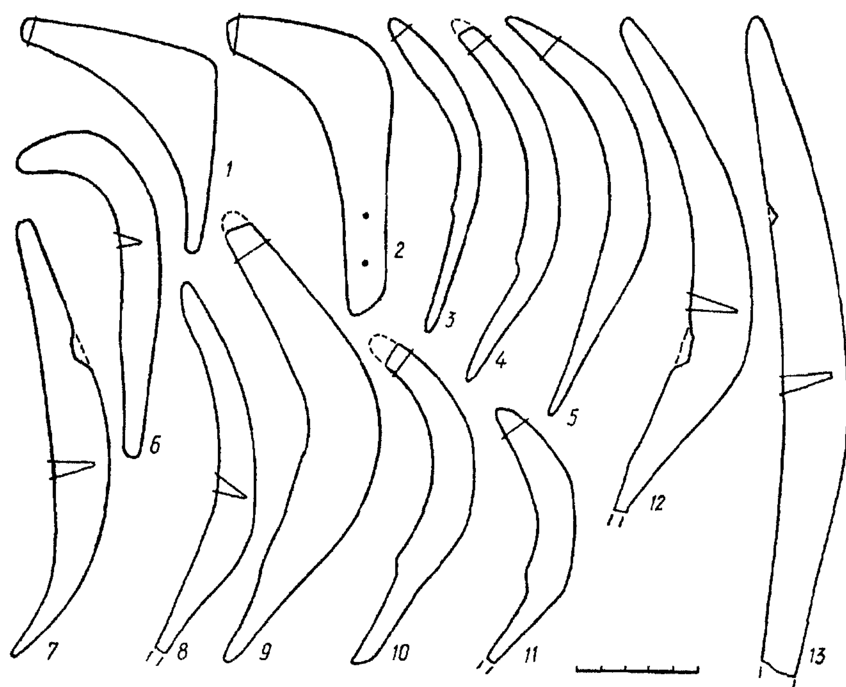
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

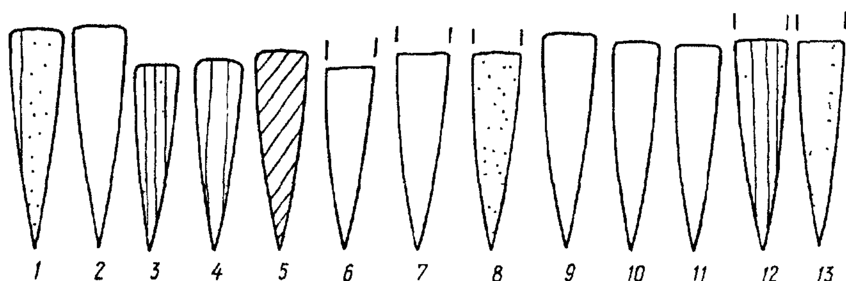
Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Ёсць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні віостыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Цербахунь і інш Фрагментарнасць дасведаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Mirošŝayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трзба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выцісьнуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў лімантаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 Р 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі пастулова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні віюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжэнні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы вызначаюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адклады бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

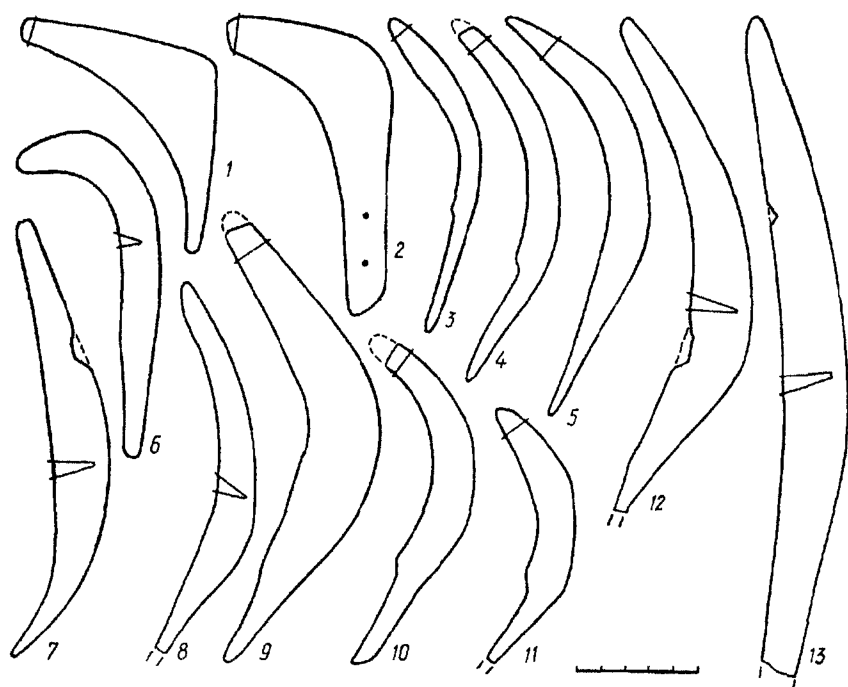
Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

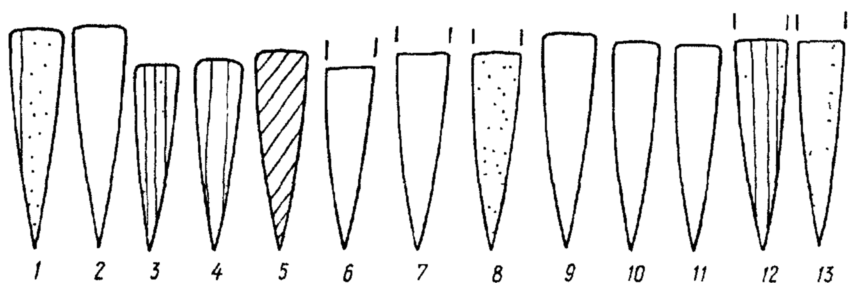
Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза пасляхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трзба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тзрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжэнні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсeды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху гліняную накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка, памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў глінянай урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі глінянага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэшткаў пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

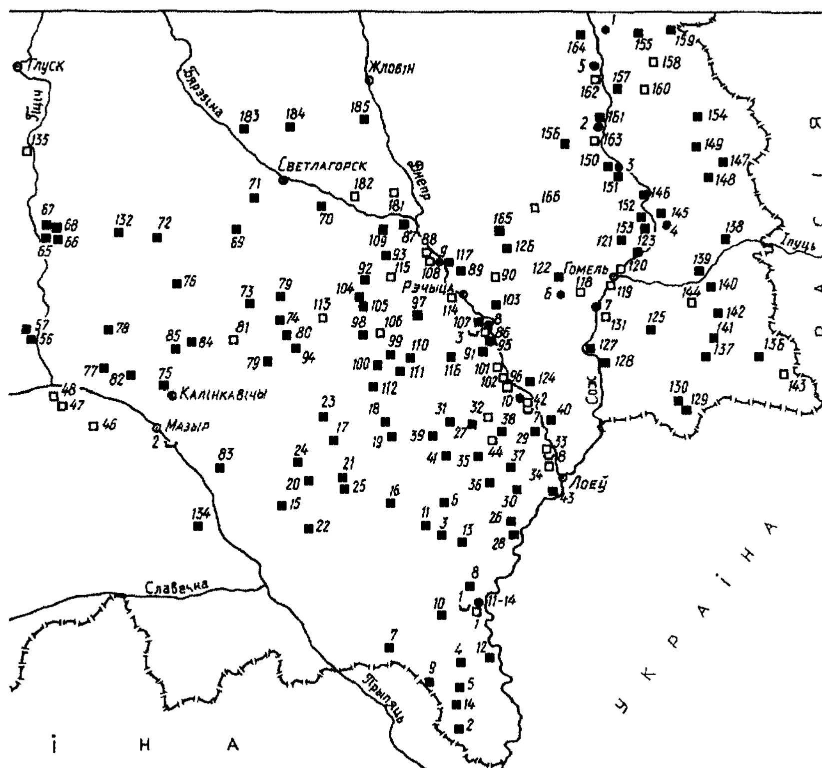
У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

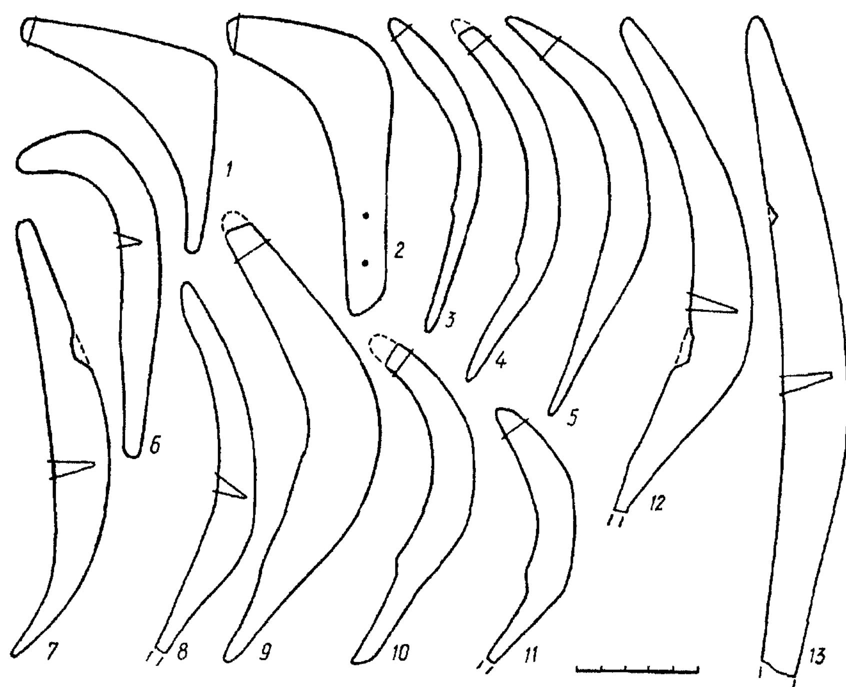
Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

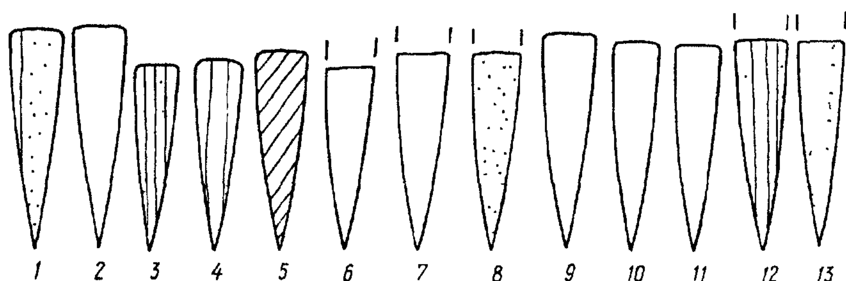
У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



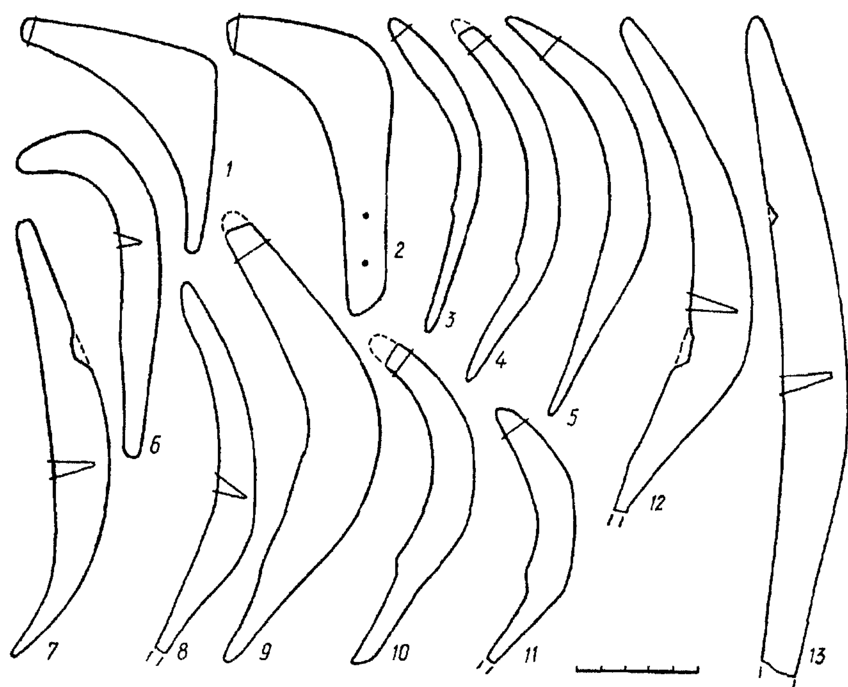
даследаваныя гарадзішчы, 3 — селішчы; 4 — курганныя могільнікі; 5 — грунтавыя могільнікі

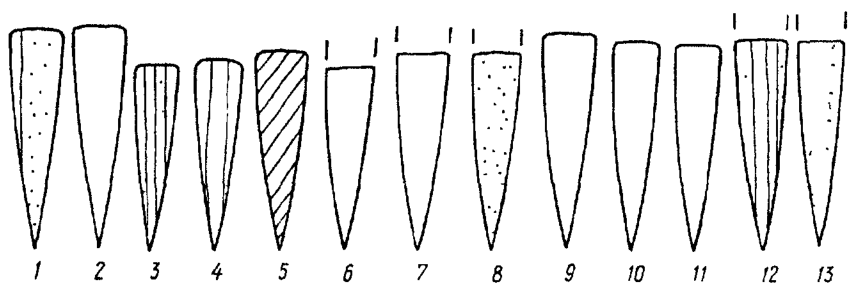
Кулажын, 8 — Новая Грэбля, 9 — Пасудава, 10 — Савічы, 11 — Сялец, 12 — Старая Ёлча, 13 — Стары Макрэц, 14 —
Клівы, 21 — Небытаў, 22 — Навасёлкі, 23 — Осаў, 24 — Хвойнае, 25 — Хойнікі-Будаўнік, Лоеўскі р-н 26 — Бывалькі 27 —
33 — Мохаўскае-1, 34 — Мохаўскае-2, 35 — Новая Баршчоўка, 36 — Астравы 37 — Пустая Града, 38 — Райск, 39 — Рудня
46 — Майсееўка, 47 — Ясянец-1, 48 — Ясянец-2, Жыткавіцкі р-н 49 — Бечы, 50 — Боркі 51 — Буда-1, 52 — Буда-2, 53 —
Навасёлкі-2; 60 — Навасёлкі-3, 61 — Навасёлкі-4, 62 — Навасёлкі-5, 63 — Піліпавічы-Філіпавічы 64 — Снядзін, 65 — Хвойня-1
72 — Віша, 73 — Гогалева, 74 — Залатуха, 75 — Калінкавічы, 76 — Казловічы, 77 — Клінск, 78 — Кротаў, 79 — Лукі, 80 —
87 — Гореаль, 88 — Глыбаў; 89 — Проў; 90 — Борхаў; 91 — Брэгдаў 92 — Будка-Шыбенка, 93 — Валадарск-Балашаўка, 94 —
101 — Калочын-1, 102 — Калочын-2, 103 — Капань, 104 — Крынкі-1, 105 — Крынкі-2, 106 — Ліскі, 107 — Луначарск, 108 —
Старое Краснае, 116 — Храбры, 117 — Чорнае, Гомельскі р-н 118 — Уза, 119 — Гомель, 120 — Любны, 121 — Пакалюбічы 122 —
Скіток, 128 — Новыя Цярэшкавічы, 129 — Чарацянке-1, 130 — Чарацянка-2, 131 — Чонкі, Акцябрскі р-н 132 — Валосавічы, 133 —
138 — Вылева, 139 — Добруш-1, 140 — Добруш-2, 141 — Івакі, 142 — Крупец, 143 — Леніна, 144 — Падгор'е, Веткаўскі р-н
152 — Хальч-1, 153 — Хальч-2, 154 — Свяцілавічы, Чачэрскі р-н 155 — Асінаўка, 156 — Дудзічы, 157 — Залессе, 158 —
Кашалёўскі р-н 165 — Іволься, 166 — Уваравічы, Любаньскі р-н 167 — Заельнае, 168 — Засмужжа, 169 — Рачэнь (Броды),
Хотамель-1, 175 — Хотамель-2, 176 — Белаеўша, 177 — Юнішча-1, 178 — Юнішча-2, 179 — Туры, 180 — Нечатава, Жлобінскі р-н
Кароткавічы, 185 — Акцябр-Праскурні, Слуцкі р-н 186 — Іvань
Гарадок (Столінскі р-н) б к , 5 — Дубай (Столінскі р-н) кург мог , 6 — Пагост (Жыткавіцкі р-н) б к , 7 — Чаплін (Лоеўскі р-н)
(Лоеўскі р-н) б к
Чачэрскі р-н, 6 — Макееўка, Гомельскі р-н, 7 — Мікольск, Гомельскі р-н, 8 — Гарошкаў, Рэчыцкі р-н, 9 — Мілаград, Рэчыцкі р-н,
Курадава, Пінскі р-н, 22 — Сошна, Пінскі р-н, 23 — Крывічы, Пінскі р-н, 24 — Фядоры, Столінскі р-н, 25 — Нечатава, Столінскі р-н,
Столінскі р-н 28 — Бор Дубянецкі Столінскі р-н



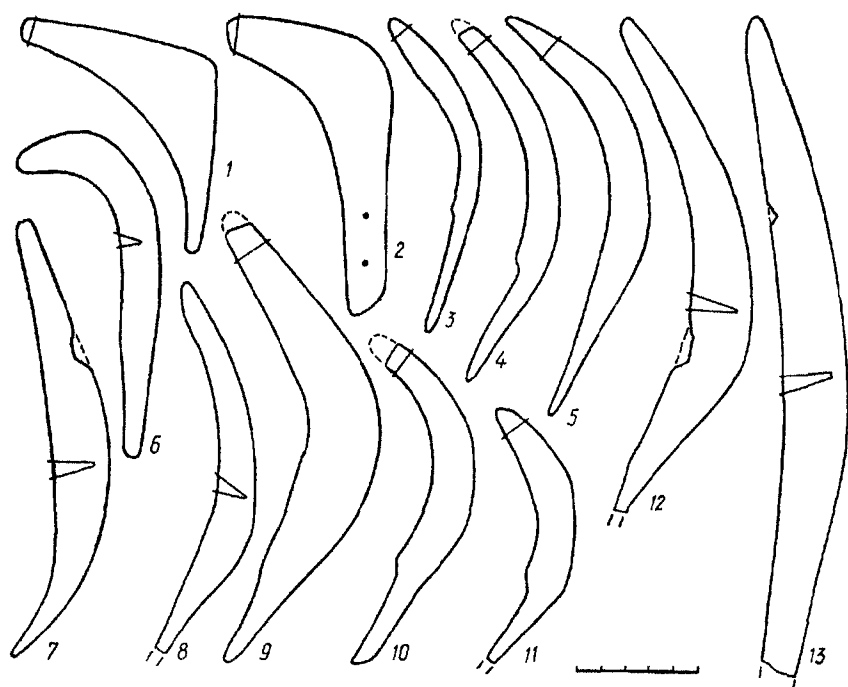


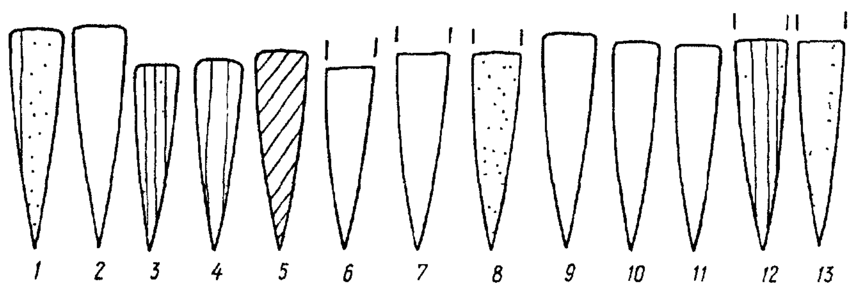
Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Прyднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху гліняною накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка, памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў глінянай урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі глінянага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэшткаў пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

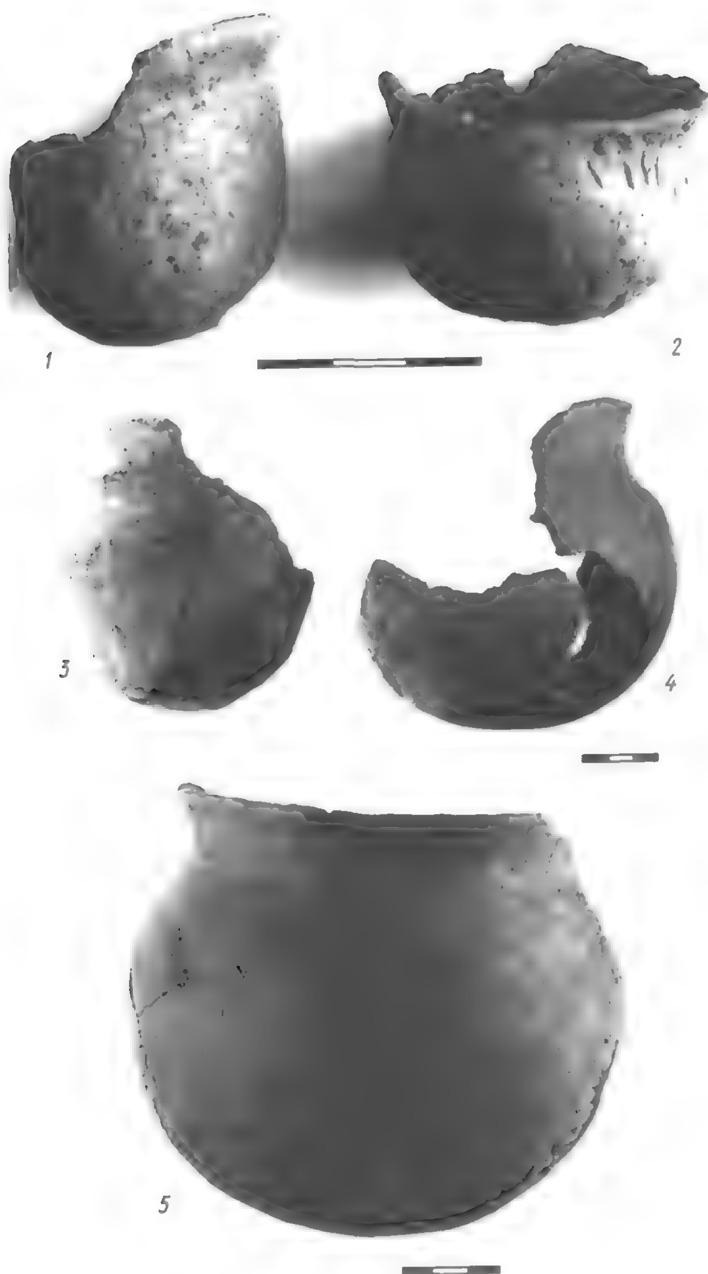
Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

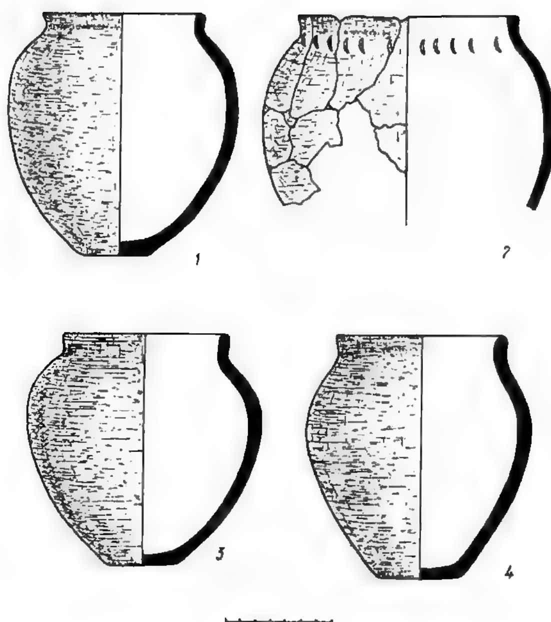
На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °C (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

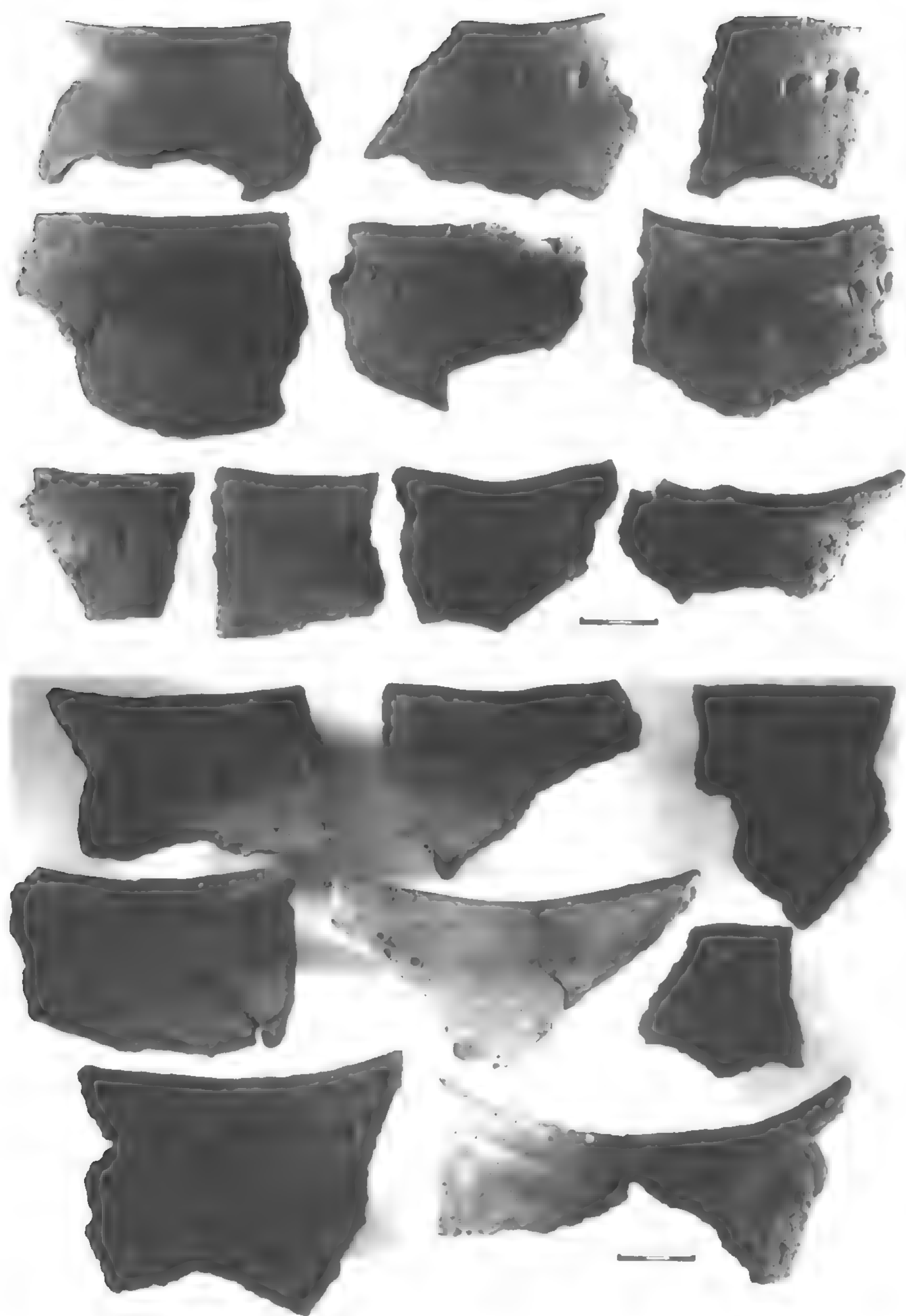
Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-



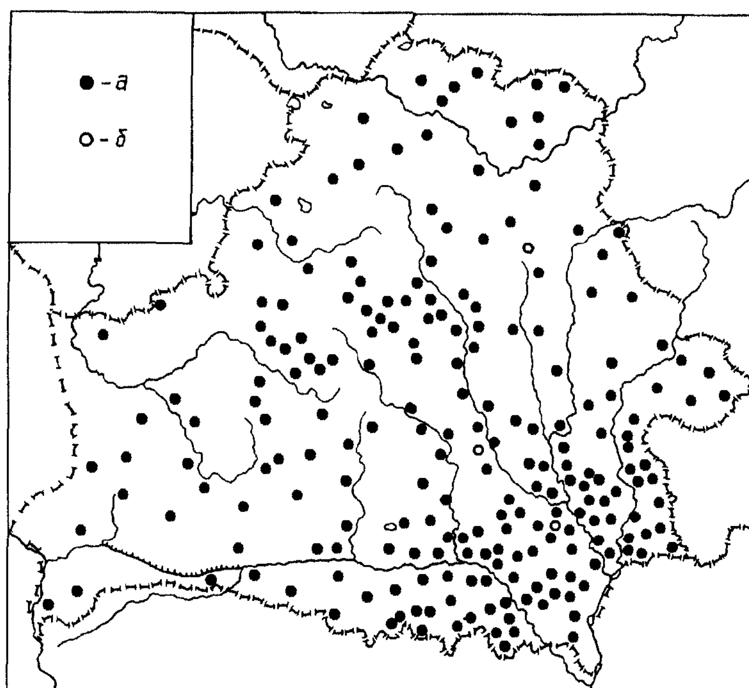
Мал. 20. Посуд мілаградскай культуры: 1,2 — мініяцюрныя сасудзікі; 3—5 — пасудзіны з шарападобным нізам



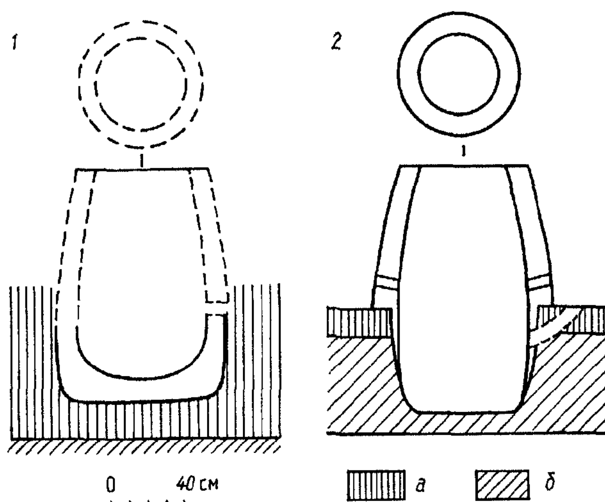
Мал. 21. Гаршкі з курганнага могільніка Дубай і гарадзішча Леніна (1 — курган № 16; 2 — гарадзішча Леніна; 3,4 — курган № 19)



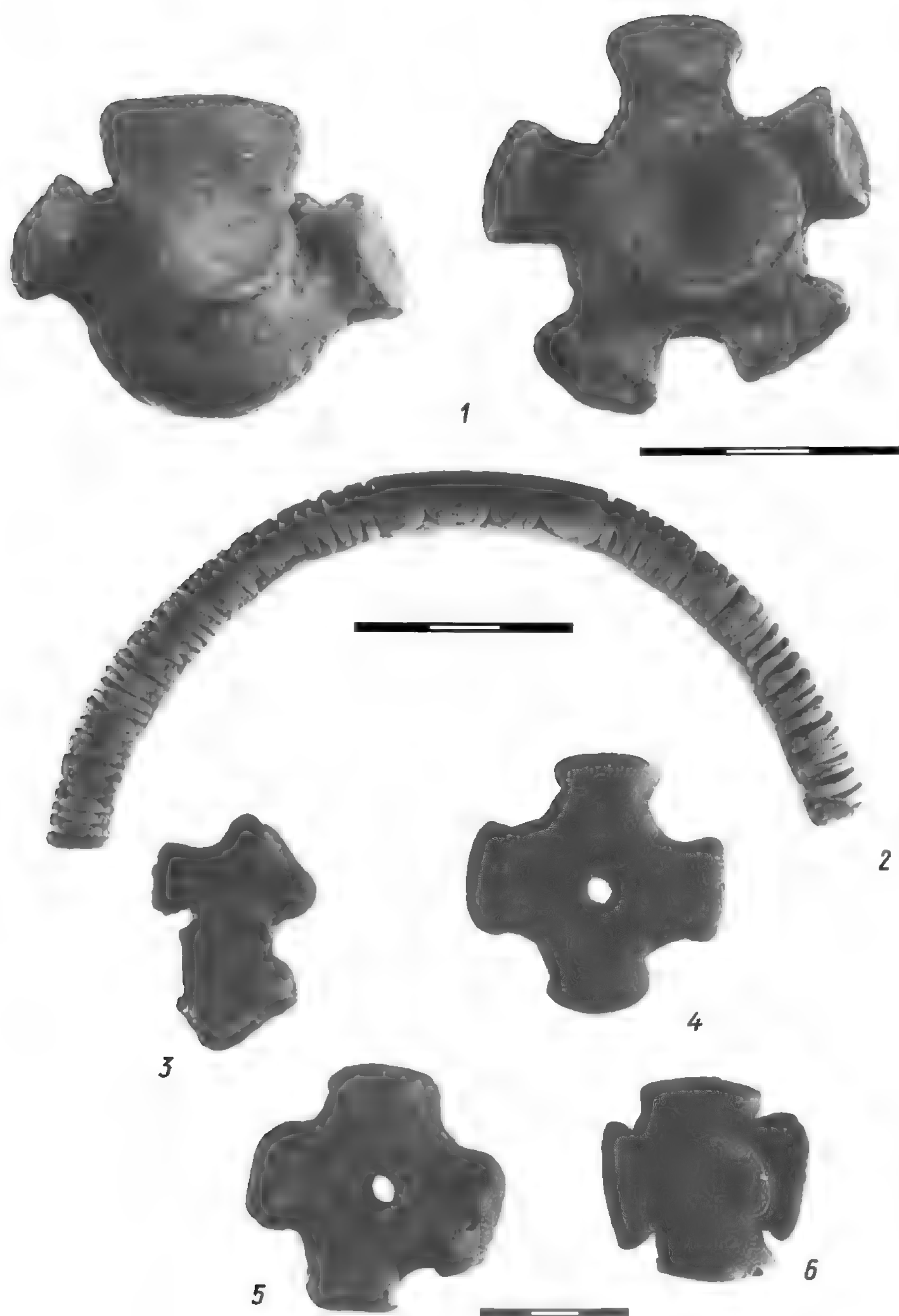
Мал. 22. Венчыкі сасудаў з гарадзішча Ліскі



Мал 1 Карта-схема Беларусі з нанясеннем радовішчаў балотных руд Умоўныя абазначэнні а — буры жалязняк (ліманіт), б — гематыт Складзена на падставе няпоўных даных геалогіі (Блиодухо, 1952, Праца 1928, Тарановіч, 1935) а таксама археалогіі тапанімікі



Мал 2 Рэканструкцыі сырадутных печаў жалезнага веку (а — культурны пласт, б — мацярык), выяўленых на тэрыторыі Беларусі і Польшчы 1 — гарадзішча Кімія (па А М Ляўданскаму), 2 — свентакшыскі металургічны цэнтр (па К Бяленіну)



Мал. 24. Грузікі і бранзалет з гарадзішча Ліскі (1, 3—6 — гліна; 2 — бронза)

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легкааднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

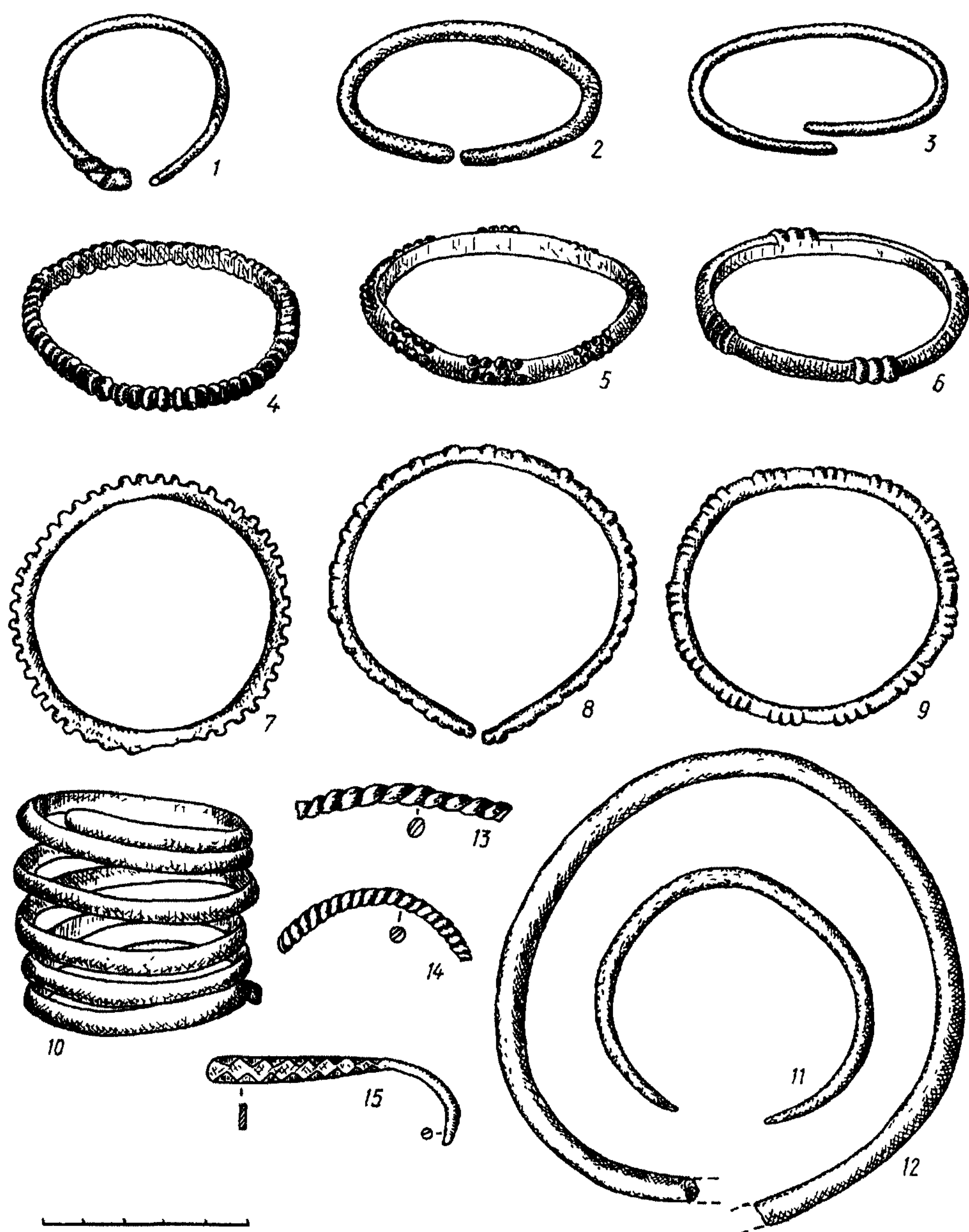
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

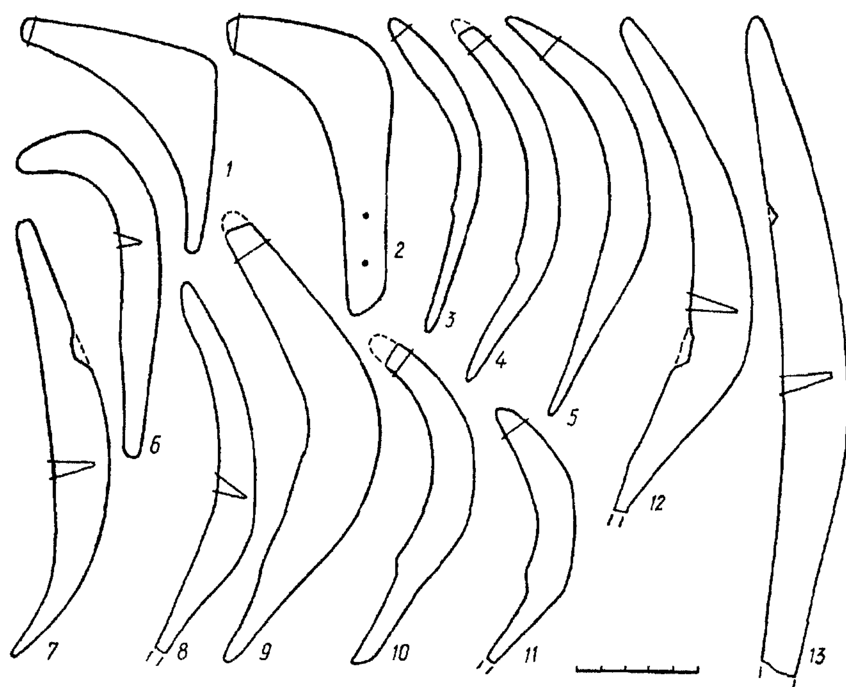
Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

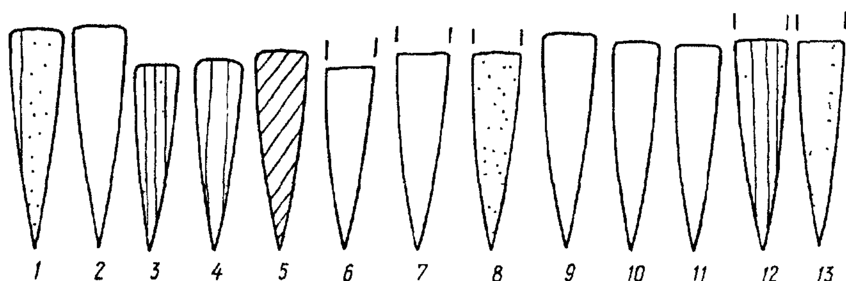
Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,



Мал. 30. Бранзалеты мілаградскага насельніцтва з бронзы (1—11, 13, 14 — Гарошкаў; 12 — Асарэвічы; 15 — Мохаўскае-1)





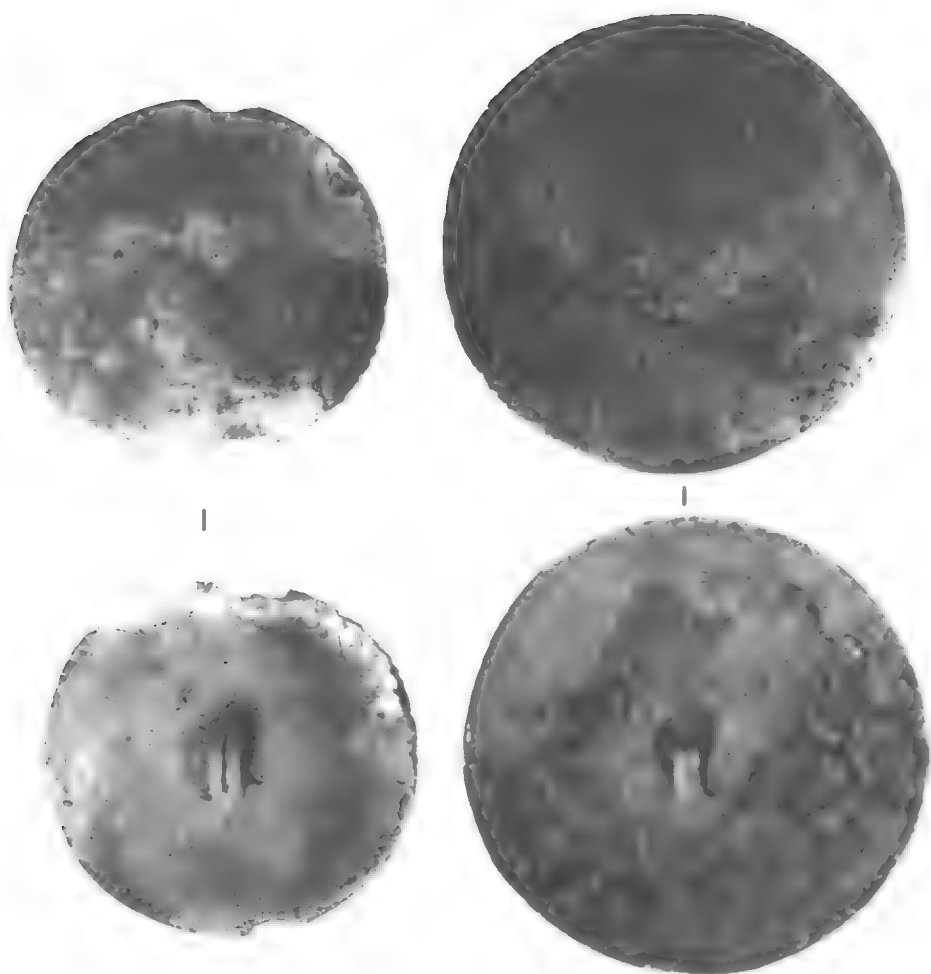
Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза пасняхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «маcткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-



Мал. 33. Бронзавыя люстэркі з гарадзішча Піскі

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні віостыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Мал 36 Карта помнікаў паморскай культуры на тэрыторыі Беларусі Умоўныя абазначэнні 1 — даследаваныя пасялішчы, 2 — селішчы, 3 — масцазнаходжанні, 4 — грунтавыя могільнікі

1 — Агароднікі (Кусічы), 2 — Хмялі, 3 — Ратайчыцы, 4 — Трасцяніца, 5 — Уладычыца, 6 — Дружба (Скорбічы), 7 — Хорава, 8 — Пелікава, 9 — Драгічын, 10 — Пінск-Альбрэхтова, 11 — Гарадзішча, 12 — Камань, 13 — Вашня, 14 — Бухліцкі хутар, 15 — Вікаравічы, 16 — Аздамічы

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

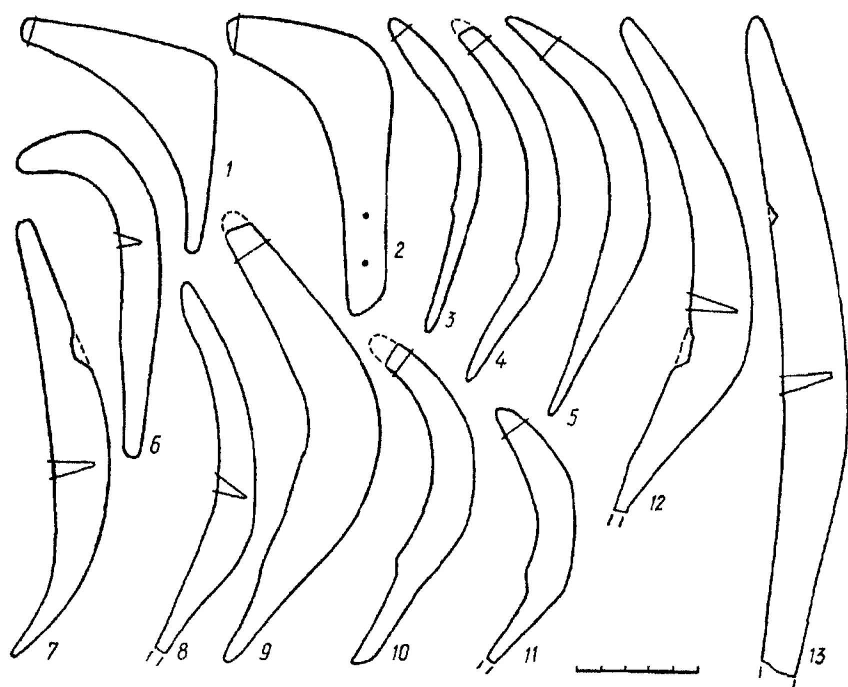
У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

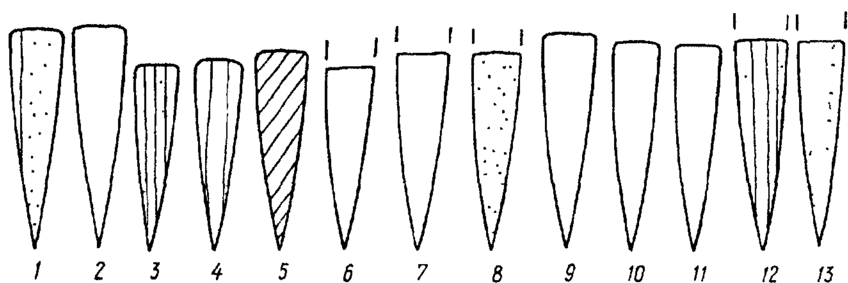
плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Прyднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза пасняхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «маслкі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжэнні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжэнні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжэнні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспахова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы вылзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць палiва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

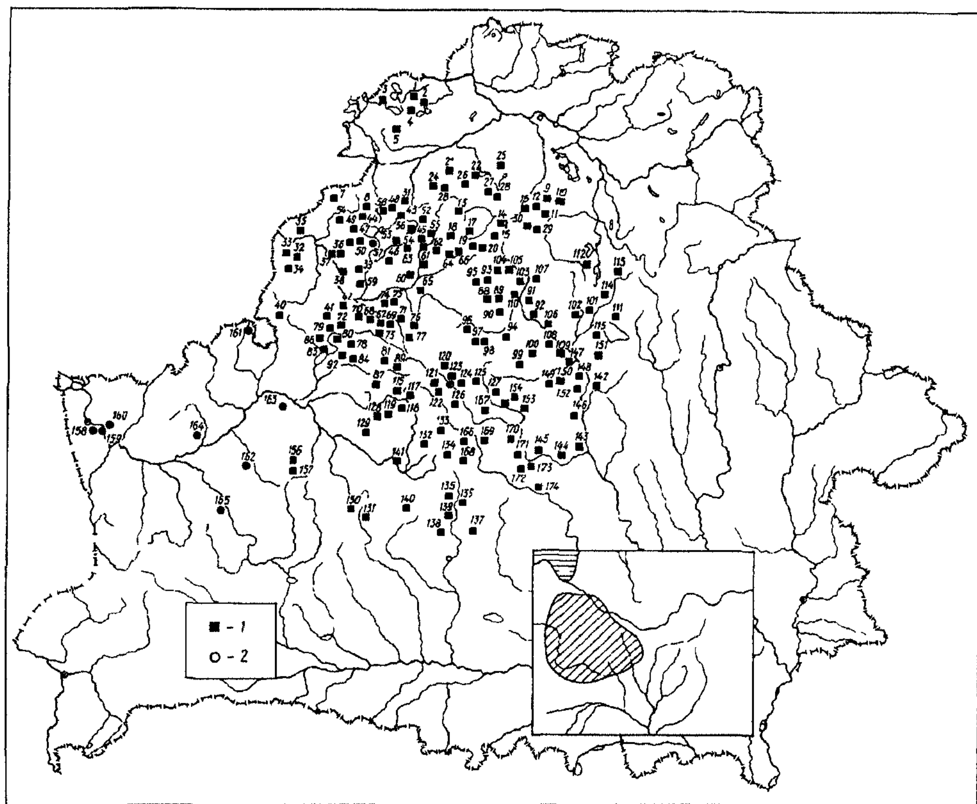
Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выцiснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



Мал. 37. Культура штрыхаванай керамікі. Умоўныя адзнакі: 1 — гарадзішчы; 2 — селішчы

1 — Рацюнкі, 2 — Шавуры, 3 — Зазоны, 4 — Укля; 5 — Замошша, 6 — Дзяўгуны-1, 7 — Дзяўгуны-2, 8 — Русакі, 9 — Забоенне, 10 — Азяруты, 11 — Стары Лепель, 12 — Стараселле, 13 — Варганы, 14 — Асецішча-1, 15 — Асецішча-2, 16 — Бярэзіна, 17 — Бірулі, 18 — Старое Заполле, 19 — Асінавік, 20 — Гарадзішча, 21 — Запруддзе, 22 — Псуя, 23 — Зарубіна, 24 — Патыгаль, 25 — Шаўкуны, 26 — Шыпы, 27 — Падвеі, 28 — Галубічы, 29 — Верабкі, 30 — Куляшы, 31 — Сарокі, 32 — Гуры, 33 — Караняты, 34 — Ігнацава, 35 — Якубішкі, 36 — Гарані, 37 — Няхфеды, 38 — Міжулічы, 39 — Войстам, 40 — Шчапанавічы, 41 — Мантацішкі, 42 — Суцькава, 43 — Некасецк, 44 — Бялоўшчына, 45 — Баравікі, 46 — Гарадзішча, 47 — Баравыя, 48 — Баяры, 49 — Свір, 50 — Астраўляны, 51 — Цепякі, 52 — Равячка, 53 — Навасёлкі, 54 — Мікольцы, 55 — Дзянісава, 56 — Шыкавічы, 57 — Занарач, 58 — Дзягілі, 59 — Ручыца, 60 — Малышкі, 61 — Орпа, 62 — Даўгінава, 63 — Рэчкі, 64 — Баравыя, 65 — Бязводнае, 66 — Любаўшы, 67 — Насілава, 68 — Загорцы, 69 — Краснае, 70 — Трапалава, 71 — Радашкавічы, 72 — Гарадзілава, 73 — Васькоўцы, 74 — Перадоўшчына, 75 — Сялédчыкі, 76 — Дубровы, 77 — Вязынка, 78 — Калдыкі, 79 — Кашчэлічы, 80 — Валожын, 81 — Яршэвічы, 82 — Ізбалаць, 83 — Замасцяны, 84 — Ясенішкі, 85 — Ракаў, 86 — Лоск, 87 — Замасцяны, 88 — Тарасіна-1, 89 — Тарасіна-2, 90 — Гарадзішча, 91 — Малы Казінец, 92 — Камень, 93 — Васількоўка, 94 — Мачаны 95 — Гарадзішча, 96 — Кузевічы, 97 — Лагойск-1, 98 — Лагойск-2, 99 — Свідна, 100 — Сітічы, 101 — Аздзяцічы, 102 — Дзядзілавічы, 103 — Кімія, 104 — Карсакавічы-1, 105 — Карсакавічы-2, 106 — Завалле, 107 — Крацэвічы, 108 — Навасёлкі, 109 — Слабодка, 110 — Лаўнікі, 111 — Вялікая Ухалода, 112 — Клішына, 113 — Кіявец, 114 — Пліса, 115 — Вялікае Гародна, 116 — Каменка, 117 — Навасады, 118 — Дзяржынск, 119 — Старая Рудзіца, 120 — Збараічы, 121 — Банцараўшчына, 122 — Гарадзішча, 123 — Дворышча, 124 — Лабеншчына, 125 — Астрашыцкі Гарадок, 126 — Міханавічы, 127 — Прылепы, 128 — Супа, 129 — Васілеўшчына, 130 — Аношкі, 131 — Качановічы 132 — Алёхаўка, 133 — Гарадзішча, 134 — Цеплень, 135 — Амговічы, 136 — Грэск, 137 — Заграддзе, 138 — Івань, 139 — Слуцк, 140 — Мыслі, 141 — Чурылаічы, 142 — Калланцы, 143 — Свіслач, 144 — Смык, 145 — Лапічы, 146 — Чыжаха, 147 — Мураў Замак, 148 — Лысуха, 149 — Котава-1, 150 — Котава-2, 151 — Зміттравічы, 152 — Прыбрэжная, 153 — Ваўкавыйск, 154 — Грабенка, 155 — Гарадзішча, 156 — Варанча, 157 — Гарадзішча, 158 — Салы, 159 — Славічы, 160 — Пужычы, 161 — Нача, 162 — Дзятлава, 163 — Чарэшля, 164 — Ясялевічы, 165 — Шылавічы, 166 — Дудзічы, 167 — Жораўка, 168 — Кавалевічы, 169 — Паддуб'е, 170 — Балачанка, 171 — Міжрэчча, 172 — Блізні Бор, 173 — Церабуты, 174 — Мацэвічы

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

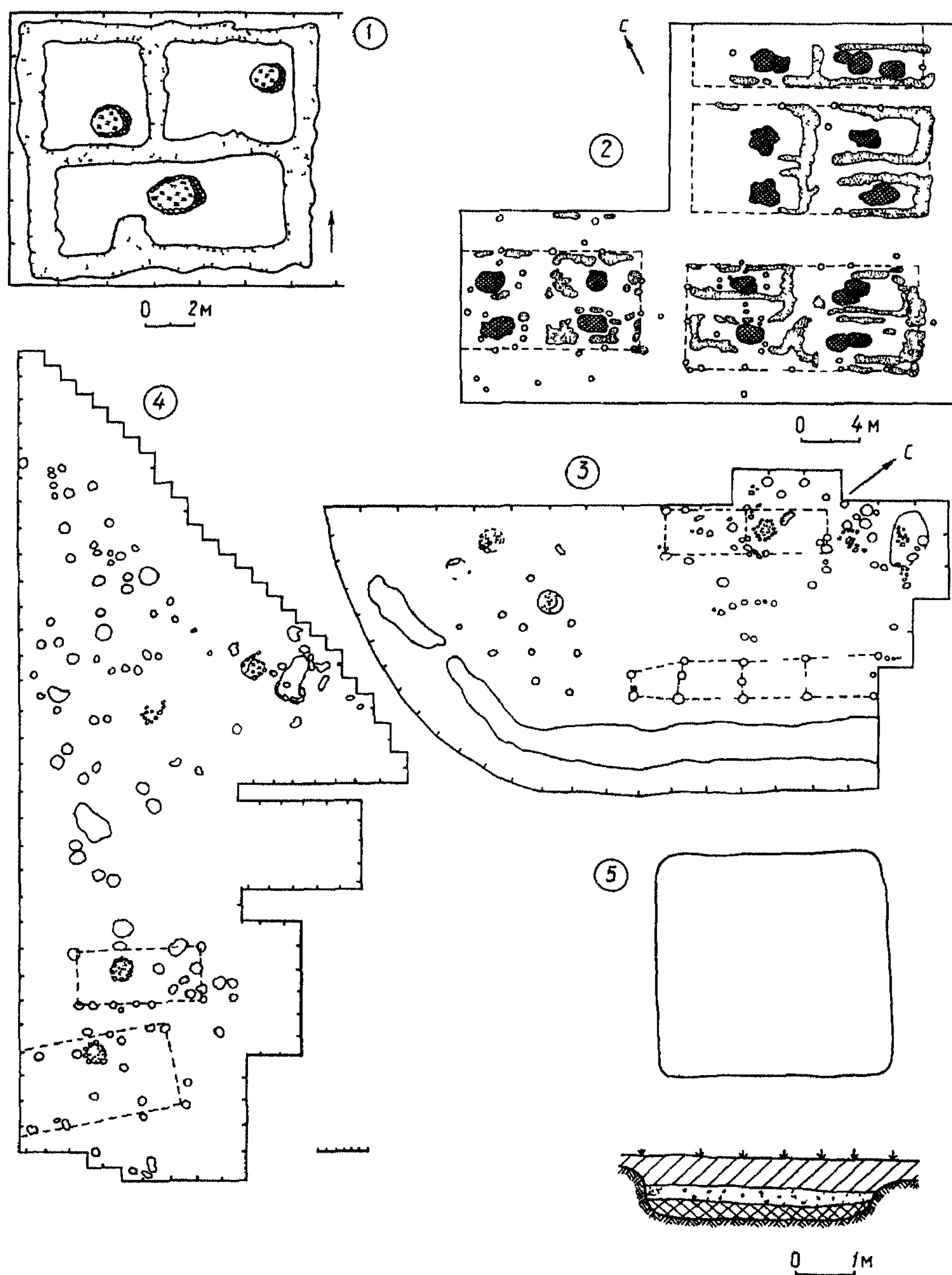
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,



Мал 39 Планы жытлаў культуры штрыхаванай керамікі 1 — Вязынка, 2 — Малышкі, 3 — Васількоўка, 4 — Лабеншчына, 5 — Мыслі (1—4 — па А Р Мітрафанаву, 5 — па М Ф Гурыну)

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

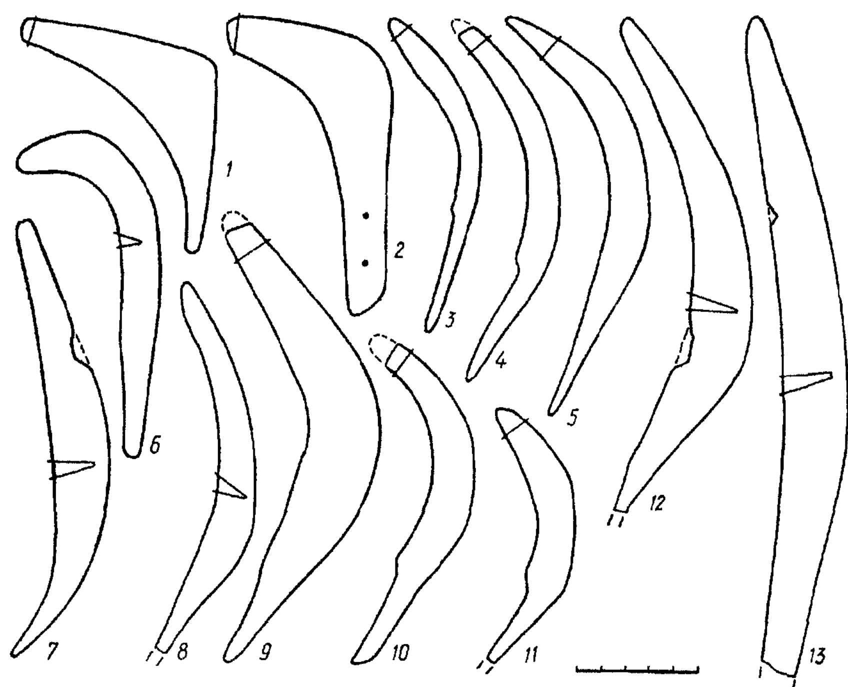
У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

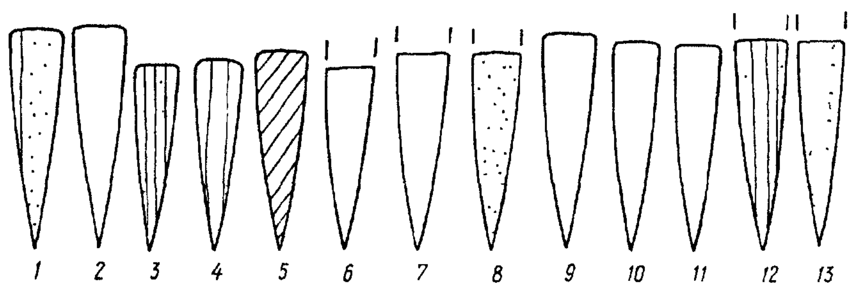
вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху гліняную накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў глінянай урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі глінянага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэштак пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх вырабу: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навуглярожванне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

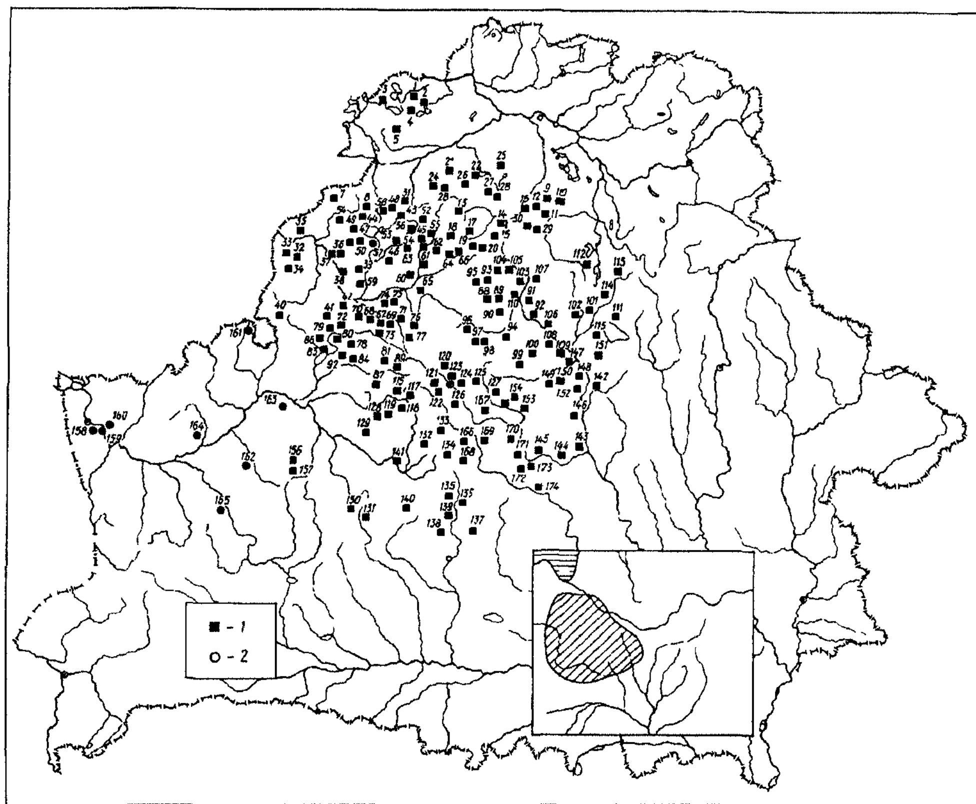
У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



Мал. 37. Культура штрыхаванай керамікі. Умоўныя адзнакі: 1 — гарадзішчы; 2 — селішчы

1 — Рацюнкі, 2 — Шавуры, 3 — Зазоны, 4 — Укля; 5 — Замошша, 6 — Дзяўгуны-1, 7 — Дзяўгуны-2, 8 — Русакі, 9 — Забоенне, 10 — Азяруты, 11 — Стары Лепель, 12 — Старaселле, 13 — Варганы, 14 — Асецішча-1, 15 — Асецішча-2, 16 — Бярэзіна, 17 — Бірулі, 18 — Старое Заполле, 19 — Асінавік, 20 — Гарадзішча, 21 — Запруддзе, 22 — Псуя, 23 — Зарубіна, 24 — Патыгаль, 25 — Шаўкуны, 26 — Шыпы, 27 — Падваі, 28 — Галубічы, 29 — Верабкі, 30 — Куляшы, 31 — Сарокі, 32 — Гуры, 33 — Караняты, 34 — Ігнацава, 35 — Якубішкі, 36 — Гарані, 37 — Няхфеды, 38 — Міжулічы, 39 — Войстам, 40 — Шчапанавічы, 41 — Мантацішкі, 42 — Суцькава, 43 — Некасецк, 44 — Бялоўшчына, 45 — Баравікі, 46 — Гарадзішча, 47 — Баравыя, 48 — Баяры, 49 — Свір, 50 — Астраўляны, 51 — Цепякі, 52 — Равячка, 53 — Навасёлкі, 54 — Мікольцы, 55 — Дзянісава, 56 — Шыкавічы, 57 — Занарач, 58 — Дзягілі, 59 — Ручыца, 60 — Малышкі, 61 — Орпа, 62 — Даўгінава, 63 — Рэчкі, 64 — Баравыя, 65 — Бязводнае, 66 — Любаўшы, 67 — Насілава, 68 — Загорцы, 69 — Краснае, 70 — Трапалава, 71 — Радашкавічы, 72 — Гарадзілава, 73 — Васькоўцы, 74 — Перадоўшчына, 75 — Сяледчыкі, 76 — Дубровы, 77 — Вязынка, 78 — Калдыкі, 79 — Кашчэлічы, 80 — Валожын, 81 — Яршэвічы, 82 — Ізбалаць, 83 — Замасцяны, 84 — Ясенішкі, 85 — Ракаў, 86 — Лоск, 87 — Замасцяны, 88 — Тарасіна-1, 89 — Тарасіна-2, 90 — Гарадзішча, 91 — Малы Казінец, 92 — Камень, 93 — Васількоўка, 94 — Мачаны 95 — Гарадзішча, 96 — Кузевічы, 97 — Лагойск-1, 98 — Лагойск-2, 99 — Свідна, 100 — Сінічы, 101 — Аздзяцічы, 102 — Дзядзілавічы, 103 — Кімія, 104 — Карсакавічы-1, 105 — Карсакавічы-2, 106 — Завалле, 107 — Крацэвічы, 108 — Навасёлкі, 109 — Слабодка, 110 — Лаўнікі, 111 — Вялікая Ухалода, 112 — Клішына, 113 — Кіявец, 114 — Пліса, 115 — Вялікае Гародна, 116 — Каменка, 117 — Навасады, 118 — Дзяржынск, 119 — Старая Рудзіца, 120 — Збараічы, 121 — Банцараўшчына, 122 — Гарадзішча, 123 — Дворышча, 124 — Лабеншчына, 125 — Астрашыцкі Гарадок, 126 — Міханавічы, 127 — Прылепы, 128 — Сула, 129 — Васілеўшчына, 130 — Аношкі, 131 — Качановічы 132 — Алёхаўка, 133 — Гарадзішча, 134 — Цеплень, 135 — Амговічы, 136 — Грэск, 137 — Заграддзе, 138 — Івань, 139 — Слуцк, 140 — Мыслі, 141 — Чурылаічы, 142 — Калланцы, 143 — Свіслач, 144 — Смык, 145 — Лапічы, 146 — Чыжаха, 147 — Мураў Замак, 148 — Лысуха, 149 — Котава-1, 150 — Котава-2, 151 — Змітравічы, 152 — Прыбрэжная, 153 — Ваўкавыйск, 154 — Грабенка, 155 — Гарадзішча, 156 — Варанча, 157 — Гарадзішча, 158 — Салы, 159 — Славічы, 160 — Пужычы, 161 — Нача, 162 — Дзятлава, 163 — Чарэшля, 164 — Ясеневічы, 165 — Шылавічы, 166 — Дудзічы, 167 — Жораўка, 168 — Кавалевічы, 169 — Паддуб'е, 170 — Балачанка, 171 — Міжрэчча, 172 — Бліжні Бор, 173 — Церабуты, 174 — Мацэвічы

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

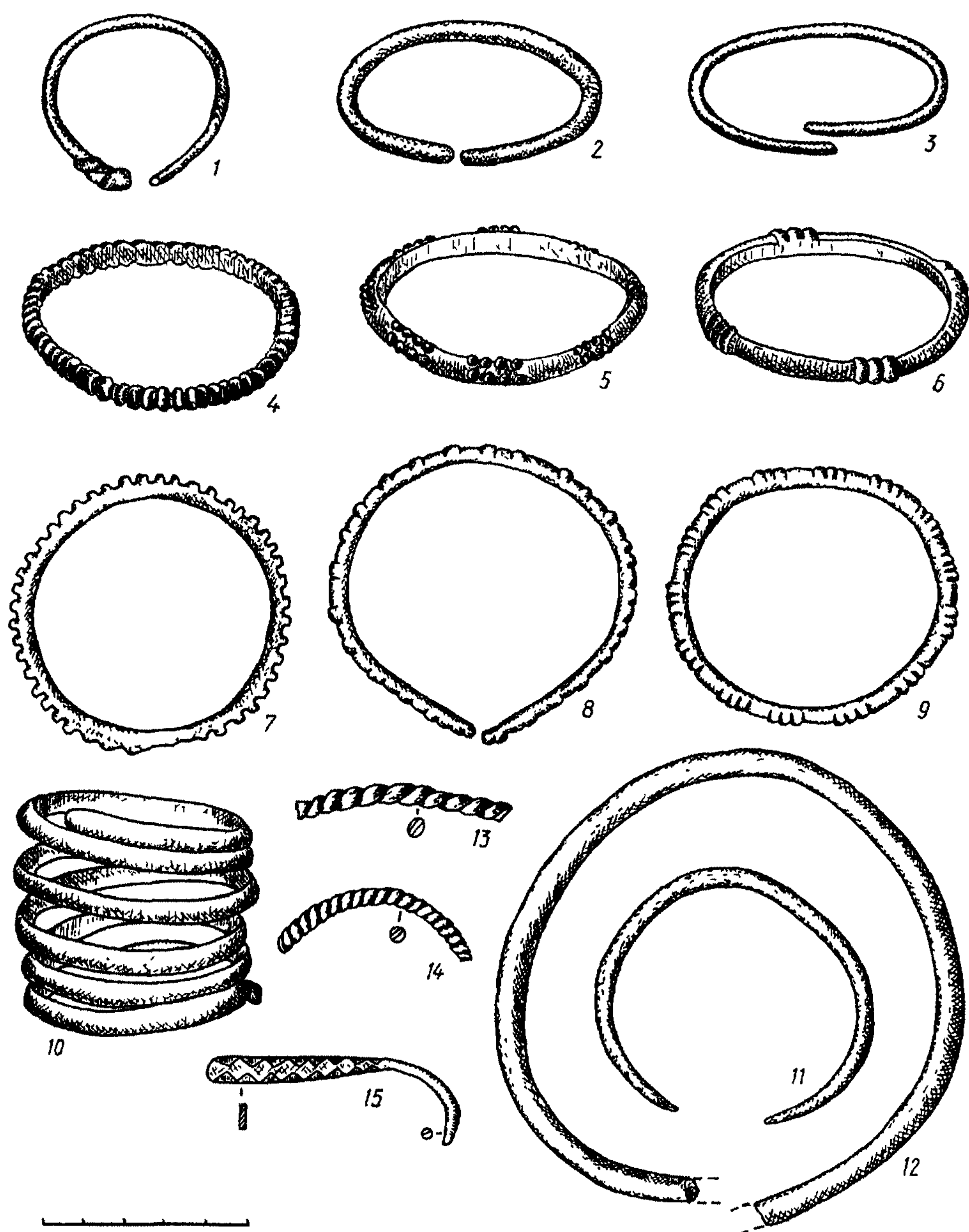
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць палiва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,



Мал. 30. Бранзалеты мілаградскага насельніцтва з бронзы (1—11, 13, 14 — Гарошкаў; 12 — Асарэвічы; 15 — Мохаўскае-1)

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навуглярожджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навуглярожджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навуглярожджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавуглеродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза пасляхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 Р 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паступова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

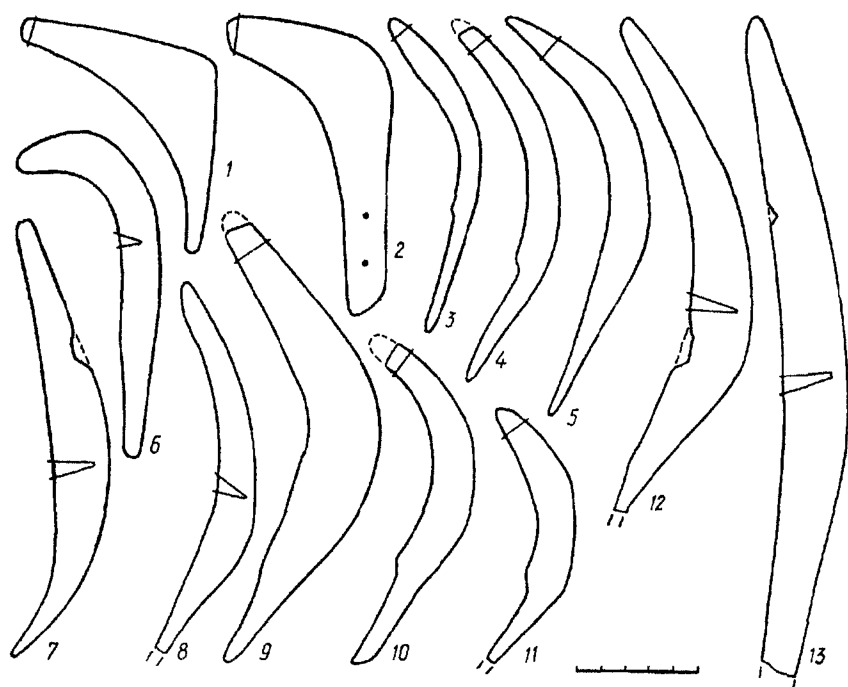
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

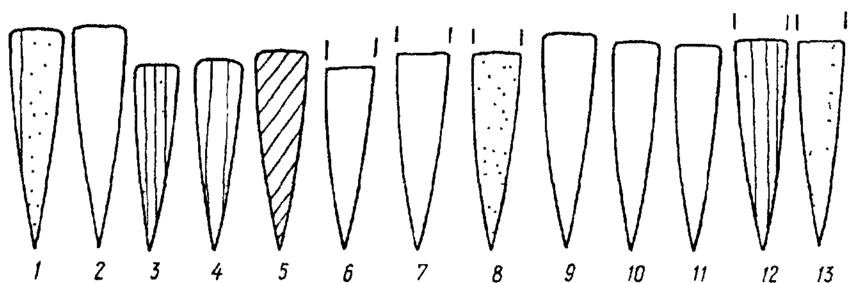
Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні віостыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навуглярожджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трзба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

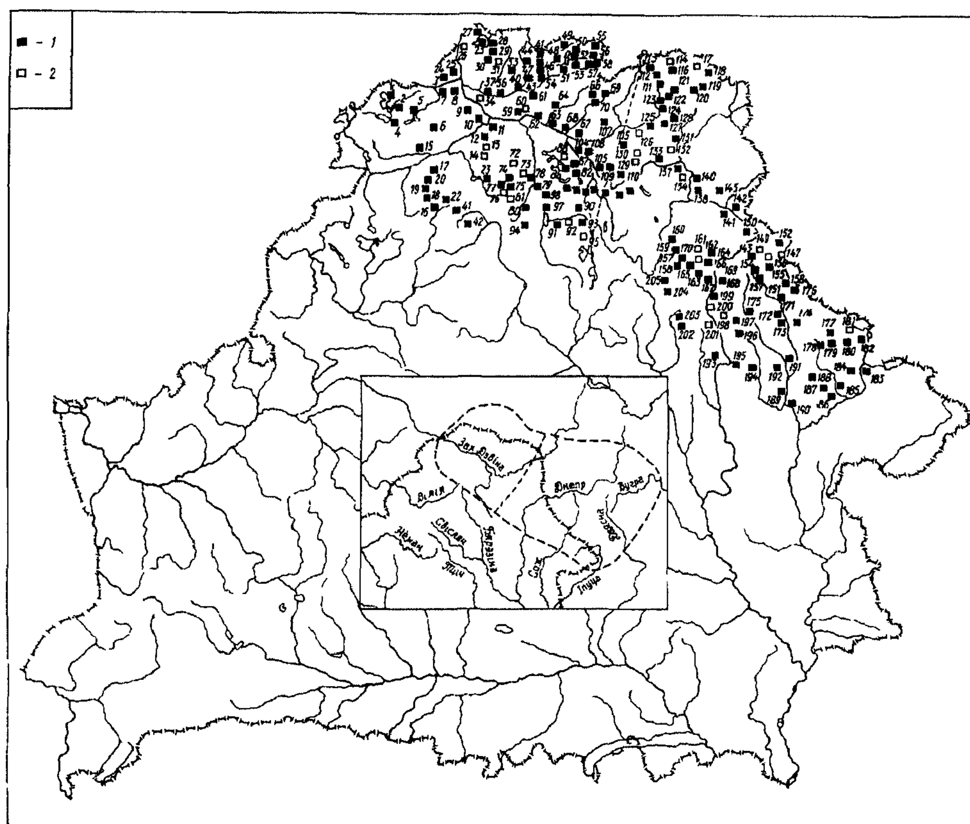
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,



Мал. 52. Помнікі днепра-дзвінскай культуры на Беларусі

Умоўныя абазначэнні. 1 — гарадзішчы з даследаваннямі; 2 — недаследаваныя, 3 — мяжа заходняга (заходнедзвінскага) і ўсходняга (смаленскага) варыянтаў культуры

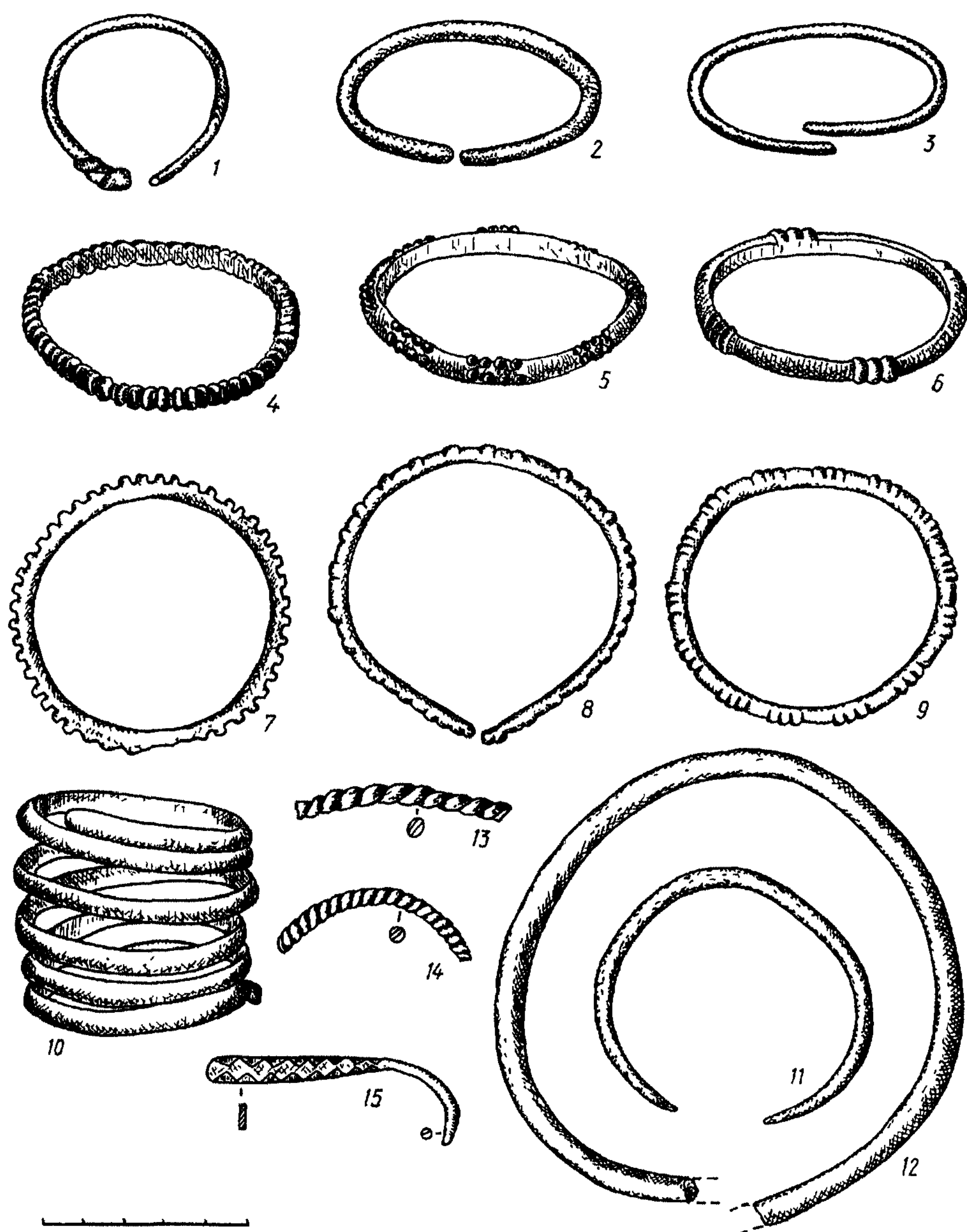
1 — Слабодка, 2 — Рацюнкі, 3 — Шавуны, 4 — Замошша, 5 — Укля, 6 — Сабалеўшчына, 7 — Гвардзейская (Кукішы), 8 — Чурылава, 9 — Панізава, 10 — Шарагі, 11— Мазурына, 12 — Субачава, 13 — Язна, 14 — Паддубнікі, 15 — Пілаты, 16 — Падгаі, 17 — Запрудзе, 18 — Латыгаль, 19 — Зарубіна, 20 — Удзела, 21 — Зубкі, 22 — Шыпы, 23 — Псуя, 24 — Сушкі 25 — Малое Абухава, 26 — Урагава, 27 — Васілеўшчына, 28 — Царкоўна, 29 — Чапаеўскае 30 — Дубровы, 31 — Абрамава, 32 — Гарадзілавічы, 33 — Маскаленкі, 34 — Цясты, 35 — Дадзкі, 36 — Барсукі 37 — Княжыцы 38 — Дзегцярова, 39 — Асеткі, 40 — Пескаватка, 41 — Варганы, 42 — Бірулі, 43 — Сакалішча, 44 — Сінск, 45 — Межава 46 — Грачушына, 47 — Даўгабор'е, 48 — Заазёр'е, 49 — Рылі, 50 — Старыца, 51 — Межна, 52 — Латышы, 53 — Няшчэрда 54 — Янкавічы, 55 — Хоцькава, 56 — Перавоз, 57 — Амосенкі, 58 — Карпіна, 59 — Якубенкі, 60 — Гаравыя, 61 — Баркі, 62 — г Полацк, 63 — Мінтурова, 64 — Палата, 65 — Дзявічкі, 66 — Труды, 67 — Смарыгі 68 — Гараны, 69 — Арлея, 70 — Званаа, 71 — Зааацце, 72 — Гарадок, 73, 74 — Замошша, 75 — Лісічна, 76 — Кублічы, 77 — Белюкоўшчына, 78 — Ваўчо, 79 — Ушачы, 80 — Гарадзец, 81 — Чамярычна, 82 — Тураспопле, 85 — Старыя Тарасы, 86 — Бадзяліна, 87 — Селішча, 88 — Зааавапіна, 89 — Падрэзы, 90 — Малая Вядрэнь, 91 — Азерцы, 92 — Бароўна, 93 — Заглінніκі, 94 — Аўгустова (Звязда), 95 — Кастрыца, 96 — Камань 97 — Стары Лепель, 98 — Стараселле, 99 — Бортнікі, 100 — Стрыжава, 101 — Застарынне, 102 — Рубеж, 103 — Чарнагосце, 104 — Запруддзе, 105 — Гародна, 106 — Галі, 107 — Гарадзішча, 108 — Кардон, 109 — Сінякова 110 — Бокішава, 111 — Бібіна, 112 — Цары, 113 — Лахі, 114 — Марчанкі, 115 — Жукава, 116 — Шнітніца 117 — Ляпеўшчына, 118 — Сцяпанавічы, 119 — Затарочча 120 — Селязні, 121 — Вышадкі, 122 — Бяскатава 123 — Бярозна, 124 — Буракова; 125 — Прудніκі, 126 — Казінова, 127 — Баравыя, 128 — Кулі, 129 — Старое Сяло, 130 — Заронава, 131 — Дрыкопле, 132 — Лужасна, 133 — Зайцава, 134 — Баронікі 135 — Жалнерава, 136 — Мяклова, 137 — Канькі, 138 — Кузьменцы 139 — Белынічы, 140 — Шапуры, 141 — Бабінавічы, 142 — Выхадцы, 143 — Буракі, 144 — Замошша, 145 — Машчаны, 146 — Новае Сяло, 147 — Кісялі, 148 — Барадзіно, 149 — Карабанавічы 150 — Дняпроўка, 151 — Іревяніца, 152 — Ляды, 153 — Баева, 154 — Малое Бахава, 155 — Чырына, 156 — Вежкі, 157 — Дзяругі 158 — Сімахі, 159 — Рэпухава, 160 — Забалоцце, 161 — Чаркасава 162 — Горная Веравойша, 163 — Барэйшава, 164 — Вялікае Бабіна 165 — Пагост, 168 — Рагозіна, 167 — Яромкавічы, 168 — Вусце, 169 — Барадзіно, 170 — Кучына, 171 — Войкаўшчына 172 — Добрая, 173 — Затоны-1, 174 — Навасёлкі, 175 — Маслакі, 176 — Касцюшкова 177 — Асмолавічы, 178 — Успопле, 179 — Ходасы 180 — Куркаўшчына, 181 — а Мсціслаў; 182 — Каробчына, 183 — Ягораўка, 184 — г Крычаў, 185 — Горкі, 186 — Камаровічы, 187 — Наркі, 188 — Юдава, 189 — Высокае, 190 — Прылёпаўка, 191 — Радамля, 192 — Селішча, 193 — Палыкавічы-1, 194 — Сухары, 195 — Фойна, 196 — Дубраўка, 197 — Благаўка, 198 — Княжыцы, 199 — Ржаўцы, 200 — Гарадок, 201 — Царкавішча, 202 — Смяталічы, 203 — Чарнаручча, 204 — Стараселле, 205 — Карзуны

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



Мал. 30. Бранзалеты мілаградскага насельніцтва з бронзы (1—11, 13, 14 — Гарошкаў; 12 — Асарэвічы; 15 — Мохаўскае-1)

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднoўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

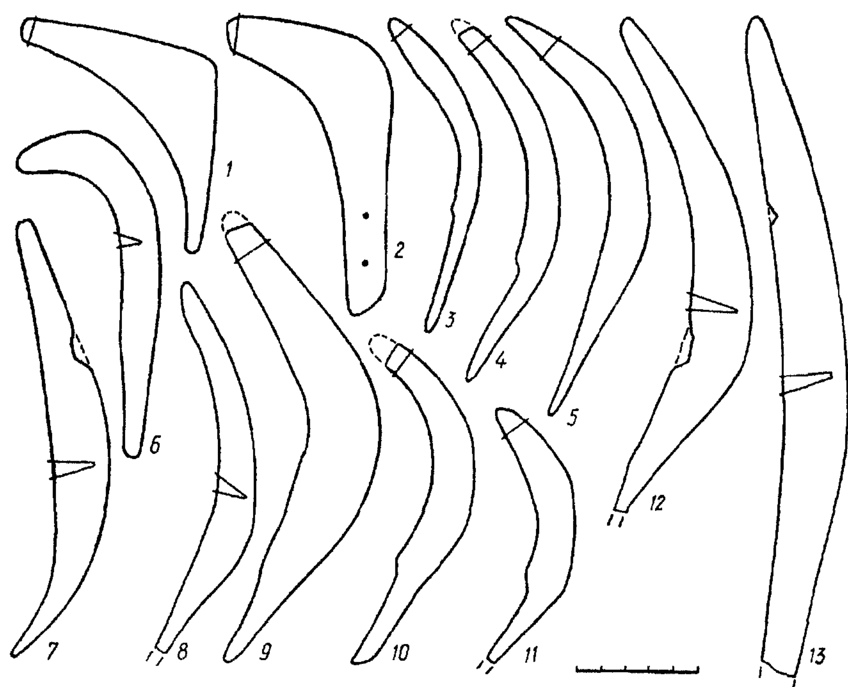
Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

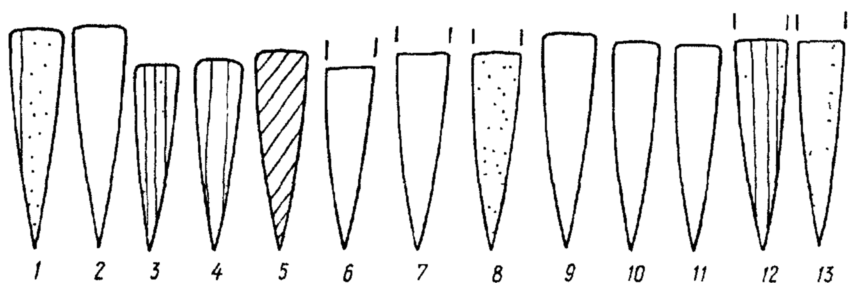
плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

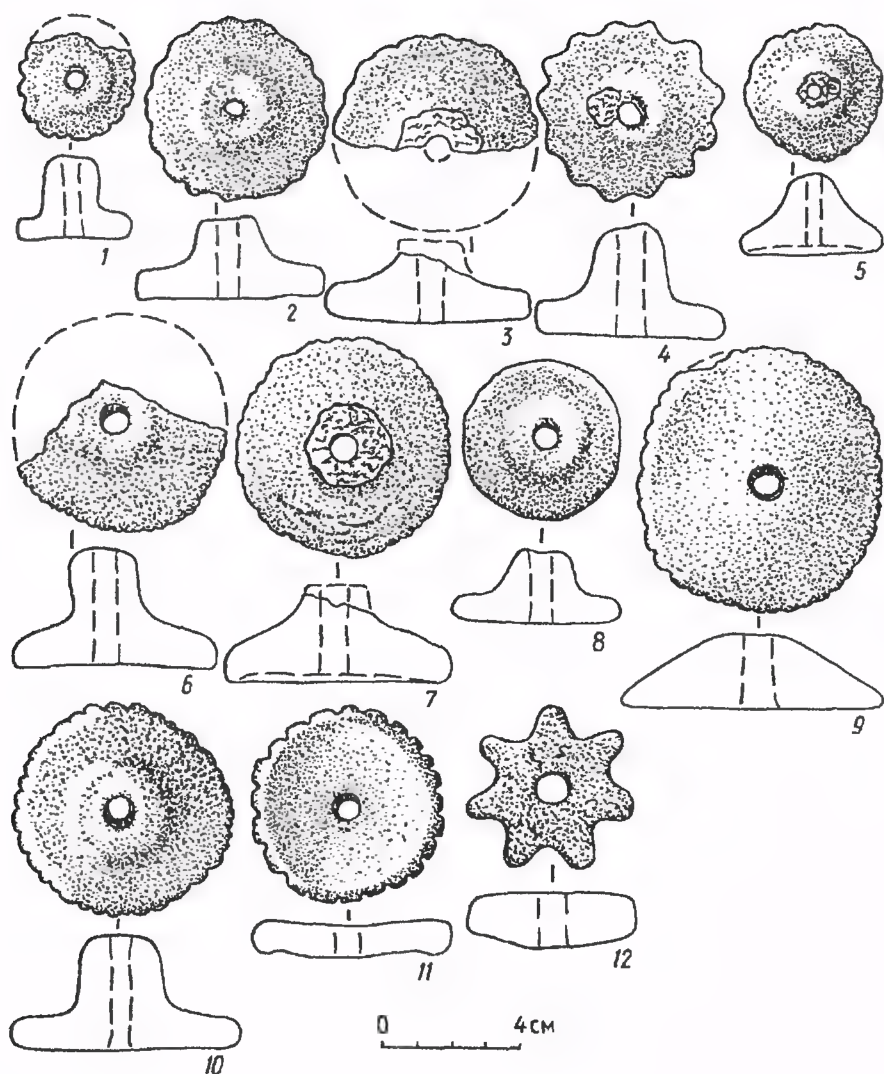
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,



Мал. 65. Гарадзішча Кастрыца. Грузікі дзякавага тыпу

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў лімантаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Ёсць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ён жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжэнні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш. Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал. 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966. S. 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970. С. 34—47, Паньков, 1982. С. 206—212, Пачкова, 1970. С. 142—150, Балагури, 1975. С. 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994. S. 1), Чэхіі (Pleiner, 1958. S. 169). Трэба адзначыць, што названае А. М. Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954. С. 13). Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979. S. 193, Gomori, 1980. S. 318—319).

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне.

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна. Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой. У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца. Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948. С. 342, Колчин, 1953. С. 24). Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна. Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння. Густацякучы стан шлаку (мал. 3.6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963. С. 39—40). Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал. 4.2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва. Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988. С. 368). Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх ставарала крыцы (мал. 3.3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства. Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982. С. 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў.

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал. 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996. P. 122). Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан. Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °C (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных kавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы вызначаюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

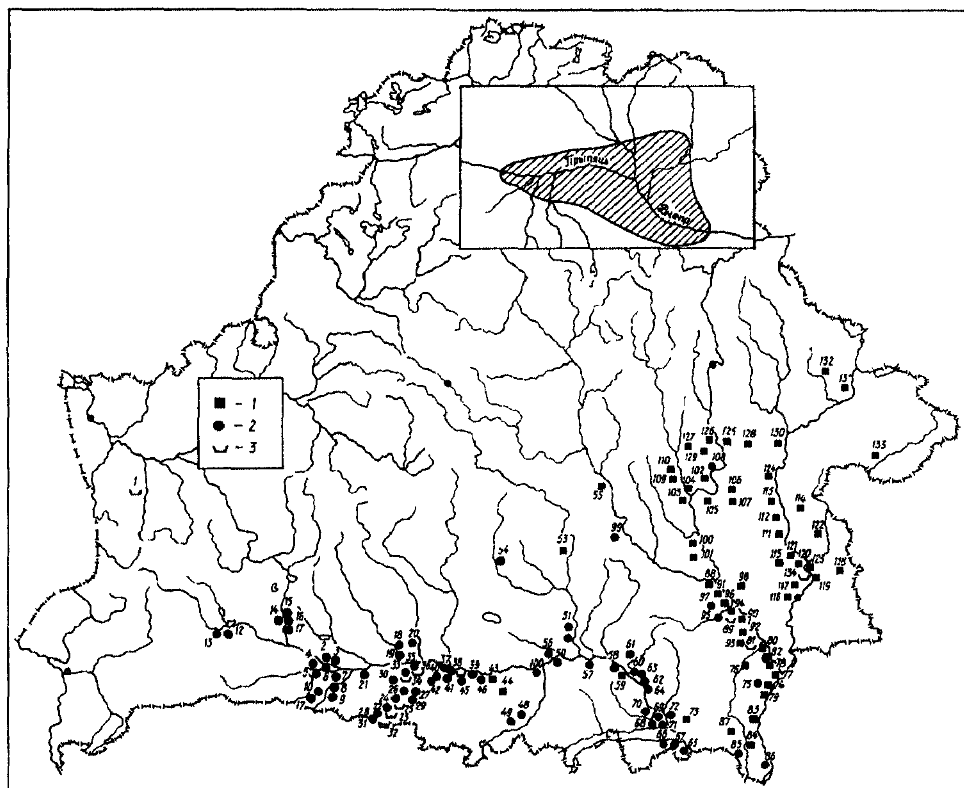
У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



Мал. 67. Зарубінецкая культура. Умоўныя абазначэнні: 1 — гарадзішчы; 2 — селішчы; 3 — могільнікі

1 — Краснасельскі, 2 — Гарадзішча, 3 — Астравічы, 4 — Церабень-1, Церабень-2, 5 — Лемяшэвічы-1, Лемяшэвічы-3, 6 — Курадава-1, Курадава-2, 7 — Лапацына, 8 — Ласіцк, 9 — Вешня, 10 — Востраў-1, Востраў-2, 11 — Парэ, 12 — Моталь, 13 — Упірава, 14 — Бакінічы, 15 — Баркі, 16 — Камень, 17 — Пагост-Загародскі, 18 — Кажан-Гарадок, 19 — Лахва, 20 — Намокрава, 21 — Плотніца, 22, 23 — Атвержычы, 24, 25 — Рубель, 26, 27 — Велямічы-1, Велямічы-2, 28 — Вікаровічы 1—3, 29 — Хотамель, 30 — Беражное, 31, 32 — Бухліцкі хутар, 33 — Рамель, 34 — Хотамель, 35 — Давыд-Гарадок, 36 — Аздамічы, 37 — Верасніца, 38 — Дварэц, 39 — Пагост, 40 — Запясочча, 41 — Семурадцы, 42 — Рычаў, 43 — Пераpoў, 44 — Пераpoўскі Млынок, 45 — Вароніна, 46 — Азяраны, 47 — Снядзін, 48 — Мікашэвічы-1, 49 — Мікашэвічы-2; 50 — Навасёлкі, 51 — Лучыцы 52 — Слабодка Чэлюшч•віцкая, 53 — Халопенічы, 54 — Любань, 55 — Шчаткава, 56 — Макаравічы, 57 — Жахавічы, 58 — Мазыр 60 — Града, 61 — Пеніца, 62 — Слабодка 1—3, 63 — Юравічы 1—3, 64 — Абухаўшчына, 65 — Беласарока, 66 — Бярозаўка, 67 — Вепры, 68 — Вярбовічы, 69 — Канатоп-1, Канатоп-2; 70 — Нароўля, 71 — Цешкаў; 72 — Кажушкі, 73 — Гноева, 74 — Гарадок-1 Гарадок-2; 75 — Дзеражычы, 76 — Ліпнякі, 77 — Лоеў; 78 — Мохаў-1, Мохаў-2; 79 — Бывалкі, 80, 81, 82 — Чаплін, 83 — Асарэвічы, 84 — Капорынка, 85 — Калыбань, 86 — Камарын, 87 — Каманава, 88 — Гораалы-1, Горвалы-2, 89, 90 — Гарошкаў, 91 — Глыбаў, 92 — Заспа-1, Заспа-2; 93 — Калочын-1, Калочын-2; 94 — Луначарск, 96, 97 — Мілаград, 98 — Чорнае, 99 — Дражня, 100 — Чырвоная Горка, 101 — Праскурні, 102 — Кісцяні, 103 — Пучын-1, Пучын-2, 104 — Рагачоў, 105 — Шапчыцы, 106 — Цагельня, 107 — Хмялянец, 108 — Шчыбрын, 109 — Азяраны, 110 — Хамічы, 111 — Шапатовічы, 112 — Чачэрск, 113 — Ворнаўка, 114 — Нісімкавічы, 115 — Уваравічы, 116 — Любны, 117 — Пакалюбічы, 118 — Вылева, 119 — Ветка, 120 — Навасёлкі, 121 — Прысна-1, Прысна-2, 122 — Сяцілавічы, 123 — Шарсцін, 124 — Ворнаўка, 125 — Абідавічы, 126 — Баркалабава, 127 — Вязьмы, 128 — Дабужа, 129 — Янава, 130 — Луначарск, 131 — Крычаў; 132 — Гарадок, 133 — Белая Дуброва, 134 — Юркавічы

вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху глінянаю накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў глінянай урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі глінянага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэштак пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза пасляхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху гліняную накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка, памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў глінянай урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі гліняпага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэштkaў пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лекга аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза пасляхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

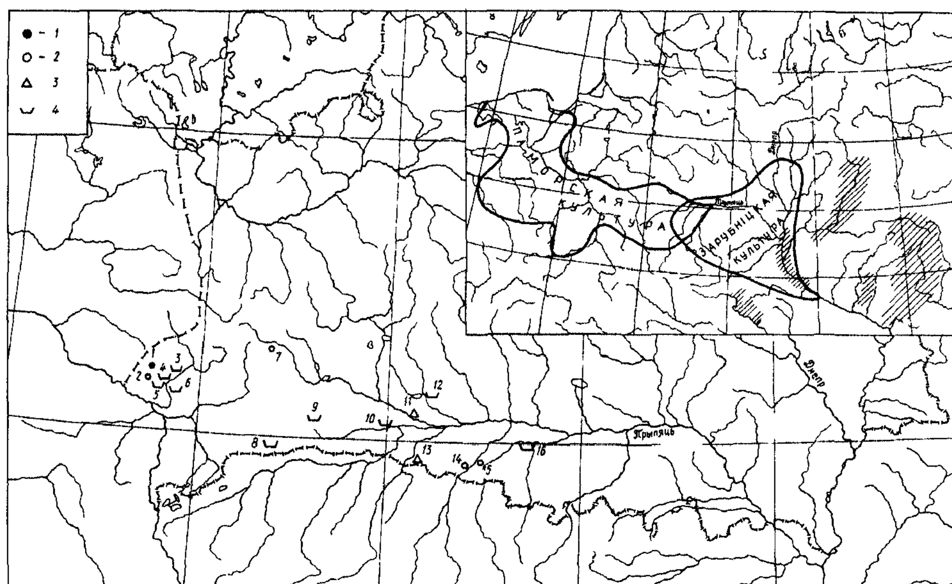
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,



Мал 36 Карта помнікаў паморскай культуры на тэрыторыі Беларусі Умоўныя абазначэнні 1 — даследаваныя пасалішчы, 2 — салішчы, 3 — масцазнаходжанні, 4 — грунтавыя могільнікі

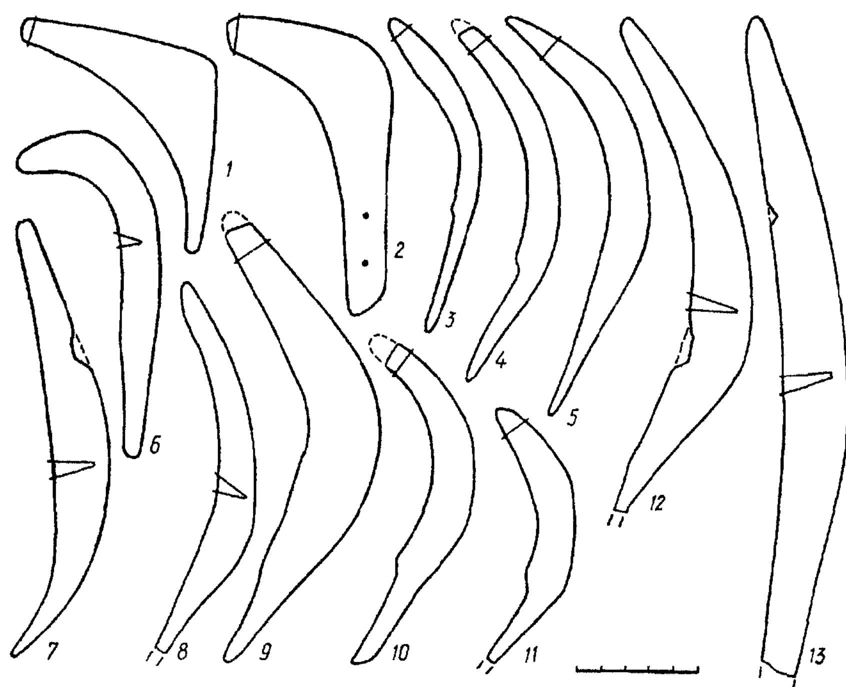
1 — Агароднікі (Кусічы), 2 — Хмялі, 3 — Ратайчыцы, 4 — Трасцяніца, 5 — Уладычыца, 6 — Дружба (Скорбічы), 7 — Хорава, 8 — Пелікава, 9 — Драгічын, 10 — Пінск-Альбрэхтова, 11 — Гарадзішча, 12 — Камань, 13 — Вашня, 14 — Бухліцкі хутар, 15 — Вікаравічы, 16 — Аздамічы

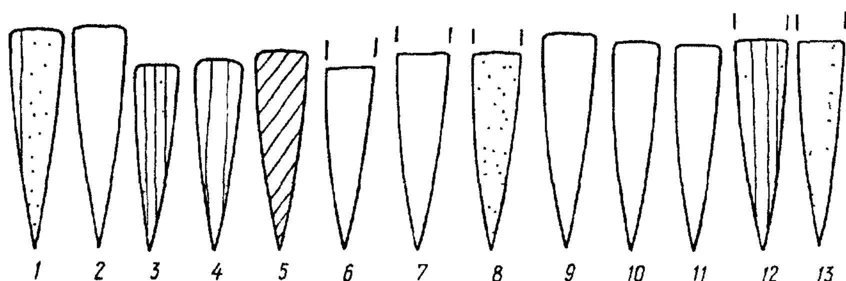
плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

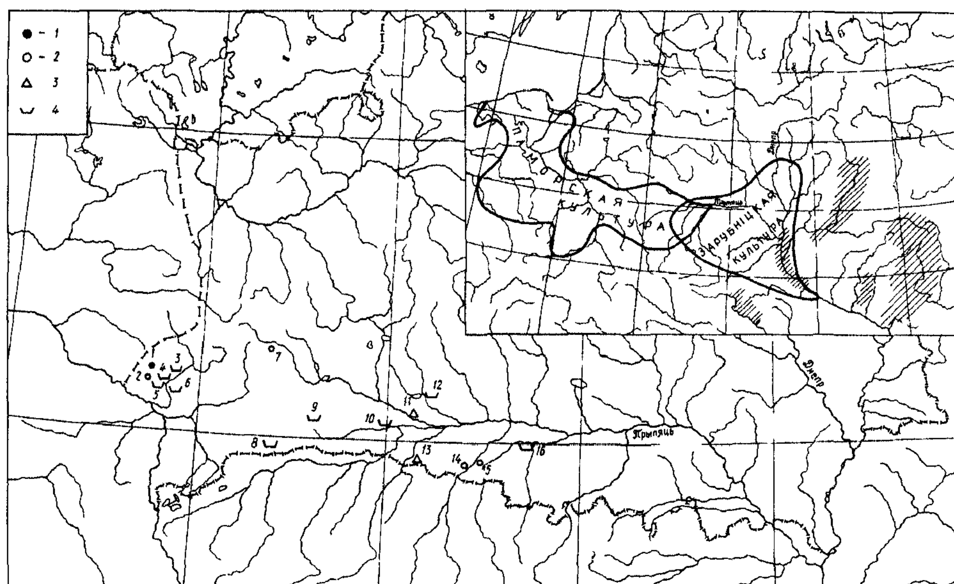
Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



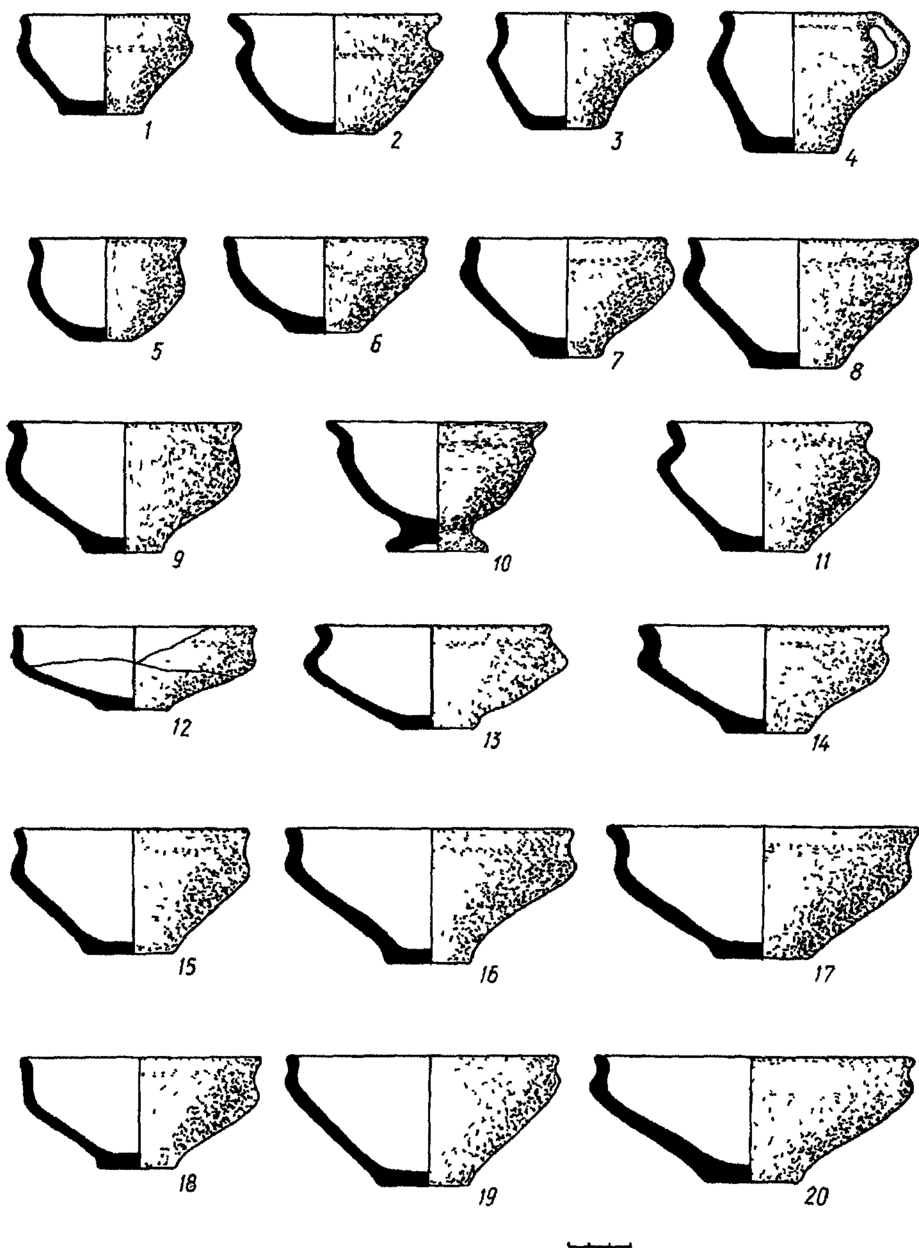


Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі



Мал 36 Карта помнікаў паморскай культуры на тэрыторыі Беларусі Умоўныя абазначэнні 1 — даследаваныя пасапішчы, 2 — сапішчы, 3 — масцазнаходжанні, 4 — грунтавыя могільнікі

1 — Агароднікі (Кусічы), 2 — Хмялі, 3 — Ратайчыцы, 4 — Трасцяніца, 5 — Уладычыца, 6 — Дружба (Скорбічы), 7 — Хорава, 8 — Пелікава, 9 — Драгічын, 10 — Пінск-Альбрэхтова, 11 — Гарадзішча, 12 — Камань, 13 — Вашня, 14 — Бухліцкі хутар, 15 — Вікаравічы, 16 — Аздамічы



Мал 79 Міскі і кубкі з Чаплінскага могільніка

вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху гліняваю накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка. памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў глінянай урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі глінянага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэшткаў пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

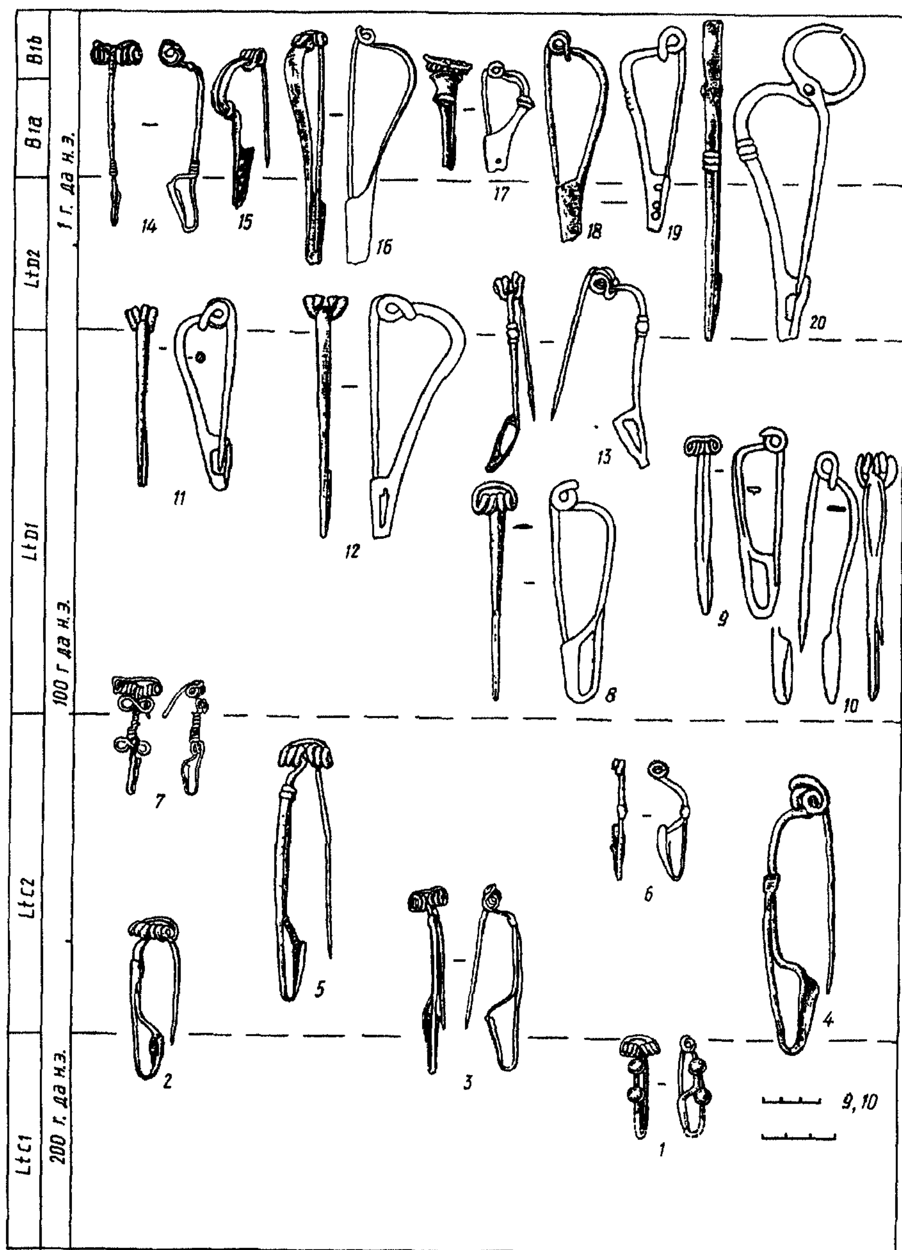
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

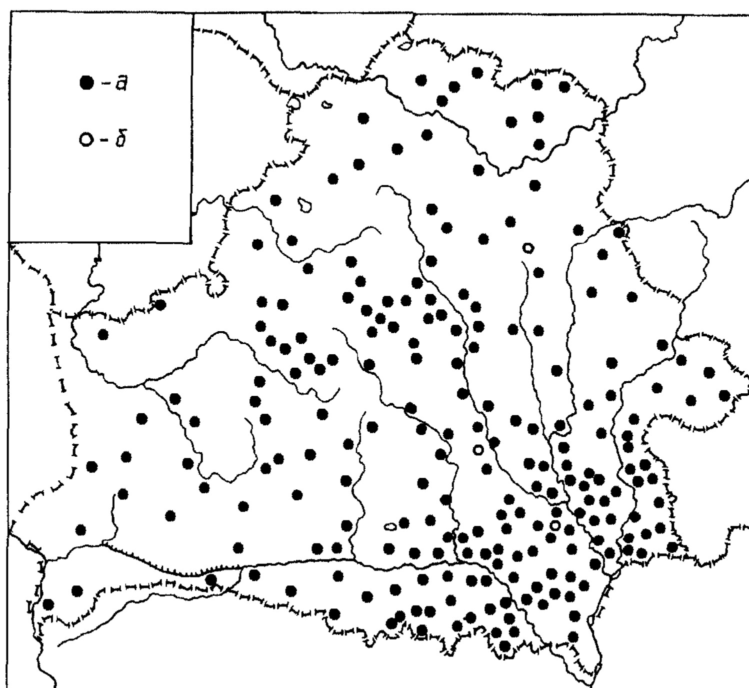
Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

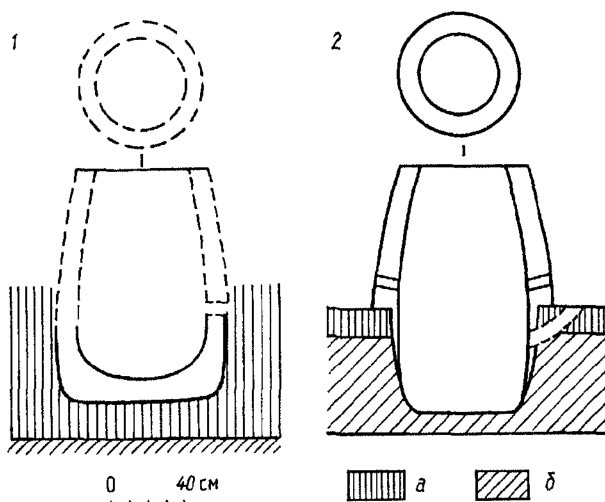
Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,



Мал. 82. Фібулы латэнскіх тыпаў носьбітаў зарубінецкай культуры. Драцяныя і пласцінчатыя фібулы паводле класіфікацыі Ю. У. Кухарэнкі: 1 — тып Б; 2 — тып Е; 3—5 — тып Г; 6 — тып Д; 7 — тып В; 8, 9 — тып Л; 10 — фібула, блізкая да наухаймскіх; 11, 12 — тып Н; 13 — тып М; 14 — тып Ф; 15 — тып Т; 16 — тып Р; 17 — тып У; 18, 19 — тып О; 20 — тып С (1, 4, 5, 15 — Велямічы-1: 1 — пахаванне 108; 4 — пахаванне 70; 5 — пахаванне 60; 15 — пахаванне 47; 2, 3, 7 — Вароніна: 2 — пахааанне 29; 3 — пахаванне 16; 7 — пахаванна 25; 6, 8, 9, 11—14, 18—20 — Чаппін: 6 — пахаванне 7; 8, 9 — пахаванна 89; 11 — пахаванне 165; 12 — пахаванне 129; 13 — пахаванне 1; 14 — пахаванне 25; 18 — пахаванне 25; 19 — пахаванне 229; 20 — пахаванне 152; 10 — Самурадцы, пахаванне 21; 16, 17 — Атвержычы: 16 — пахаванна 1; 17 — пахаванне разбуранаа)



Мал 1 Карта-схема Беларусі з нанясеннем радовішчаў балотных руд Умоўныя абазначэнні а — буры жалязняк (ліманіт), б — гематыт Складзена на падставе няпоўных даных геалогіі (Блиодухо, 1952, Праца 1928, Тарановіч, 1935) а таксама археалогіі тапанімікі



Мал 2 Рэканструкцыі сырадутных печаў жалезнага веку (а — культурны пласт, б — мацярык), выяўленых на тэрыторыі Беларусі і Польшчы 1 — гарадзішча Кімія (па А М Ляўданскаму), 2 — свентакшыскі металургічны цэнтр (па К Бяленіну)

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх ствярала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 Р 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжэнні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза пасняхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

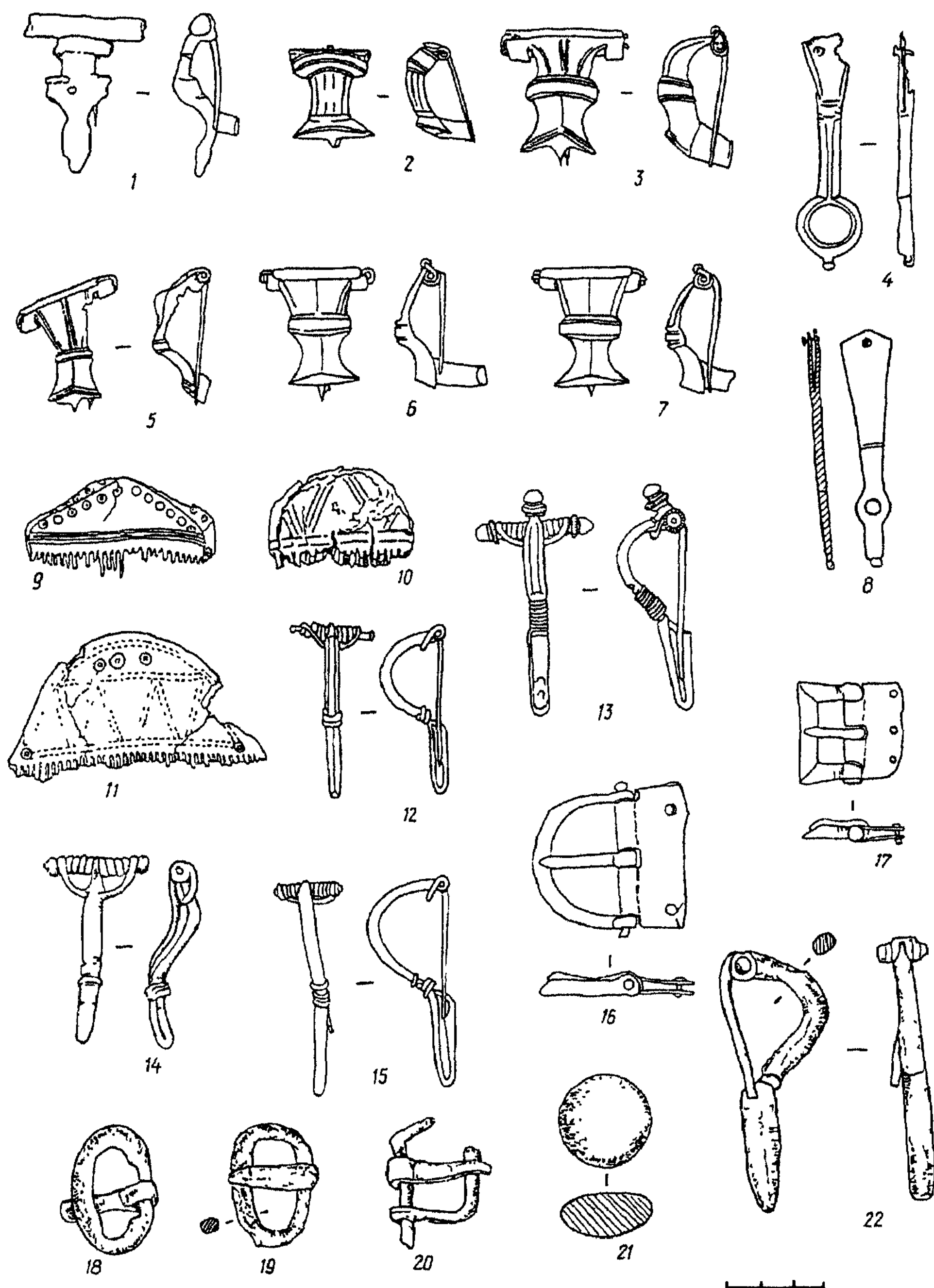
Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

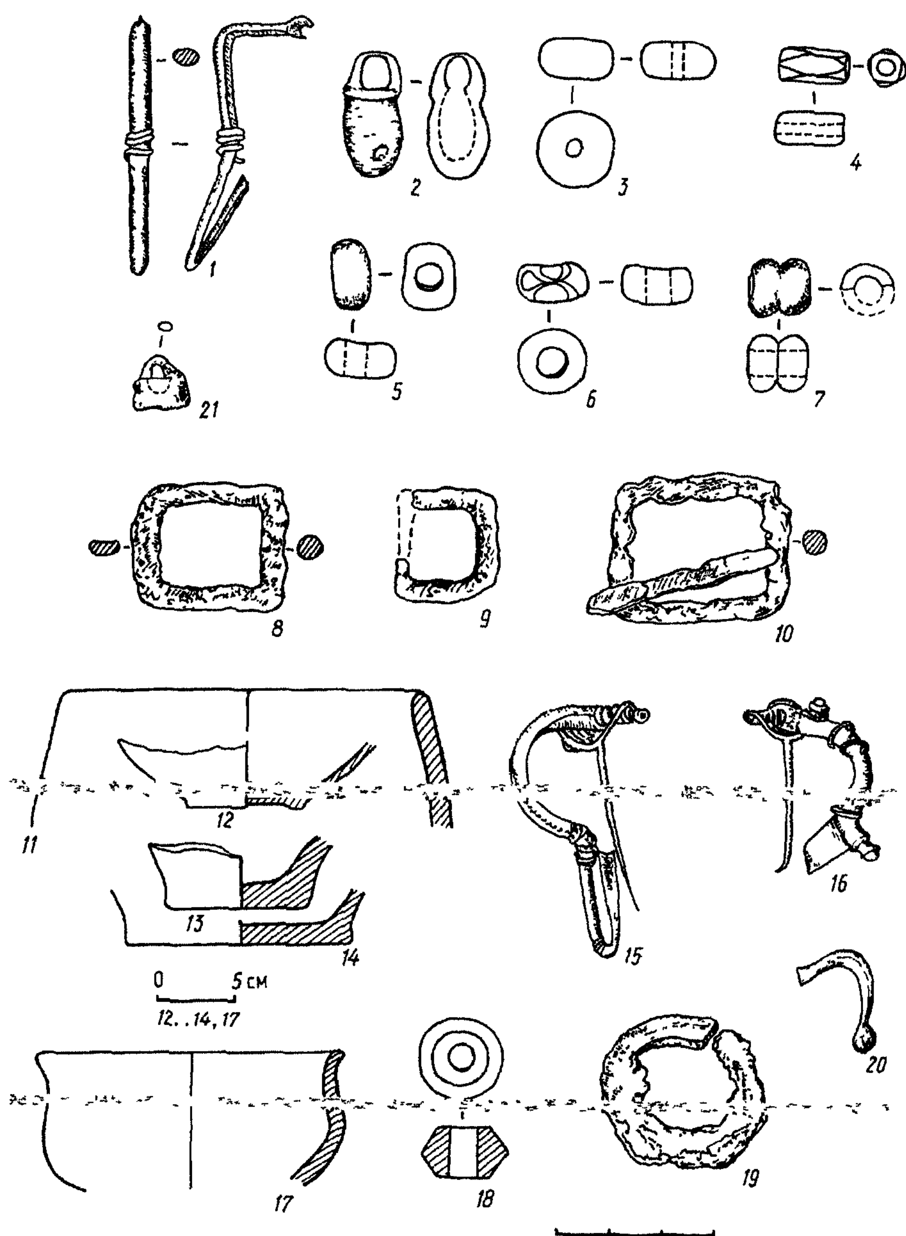
Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

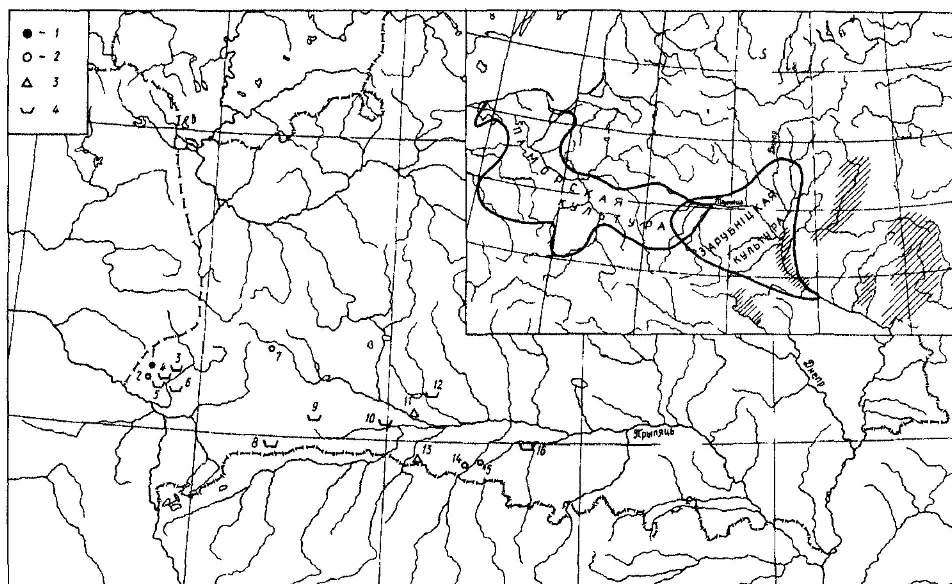
У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



Мал. 93. Рэчы з могільнікаў вельбарскай культуры. Брэст-Трышын (1—13, 15—17); Велямічы (14, 18, 20, 21); Атвержычы (19, 22) (па Ю. У. Кухарэнку і К. В. Каспаравай)



Мал. 94 Рэчы з помнікаў вельбарскай культуры Лемяшэвічы (1—10, 21), Струга-1, пабудова 4 (11—14), Скорбічы (15—16), Кругель (17—18), Велямічы (19, 20) (па В С Вяргей і Ю У Кухарэнку)



Мал 36 Карта помнікаў паморскай культуры на тэрыторыі Беларусі Умоўныя абазначэнні 1 — даследаваныя пасапішчы, 2 — сапішчы, 3 — масцазнаходжанні, 4 — грунтавыя могільнікі

1 — Агароднікі (Кусічы), 2 — Хмялі, 3 — Ратайчыцы, 4 — Трасцяніца, 5 — Уладычыца, 6 — Дружба (Скорбічы), 7 — Хорава, 8 — Пелікава, 9 — Драгічын, 10 — Пінск-Альбрэхтова, 11 — Гарадзішча, 12 — Камань, 13 — Вашня, 14 — Бухліцкі хутар, 15 — Вікаравічы, 16 — Аздамічы

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

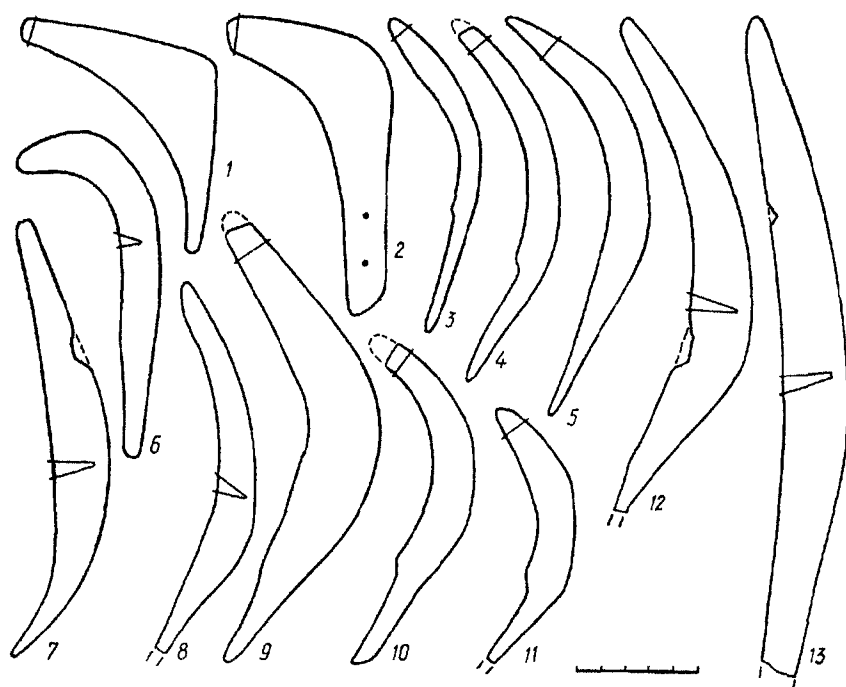
У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

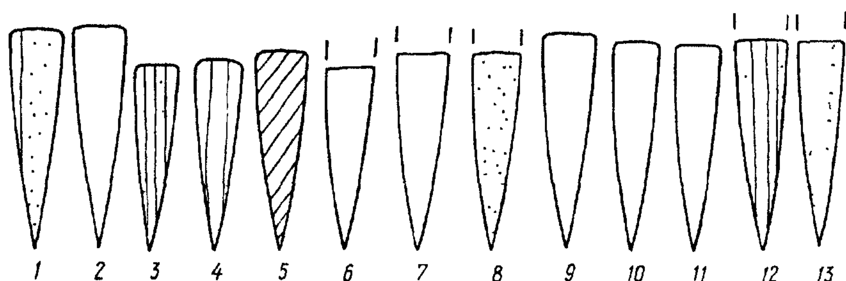
плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні віостыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Ёсць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

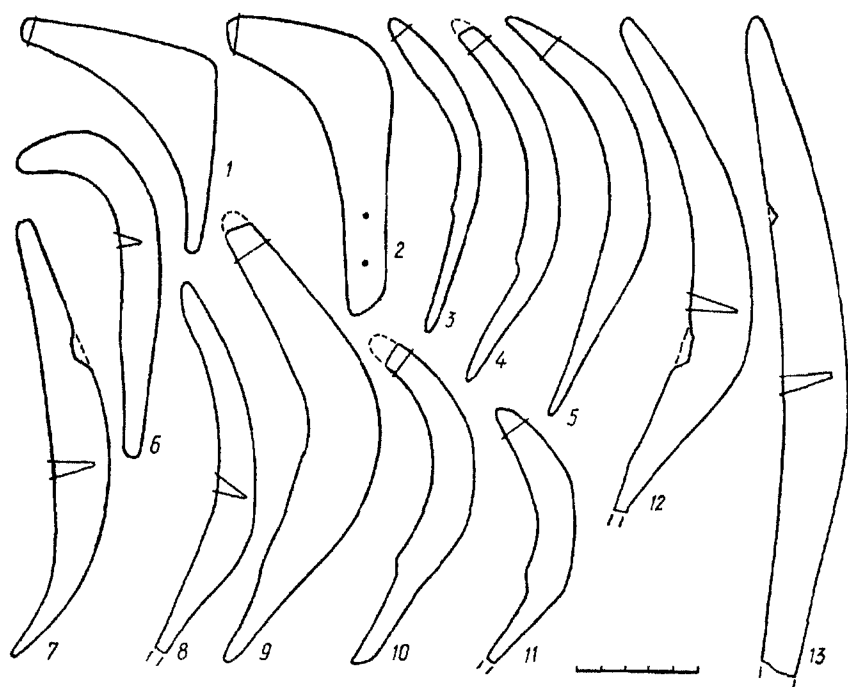
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

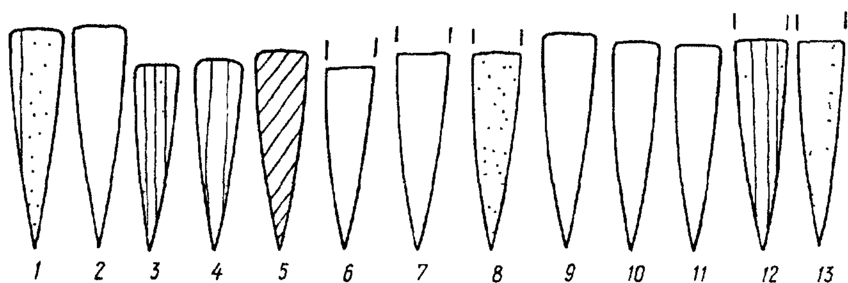
Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і множства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

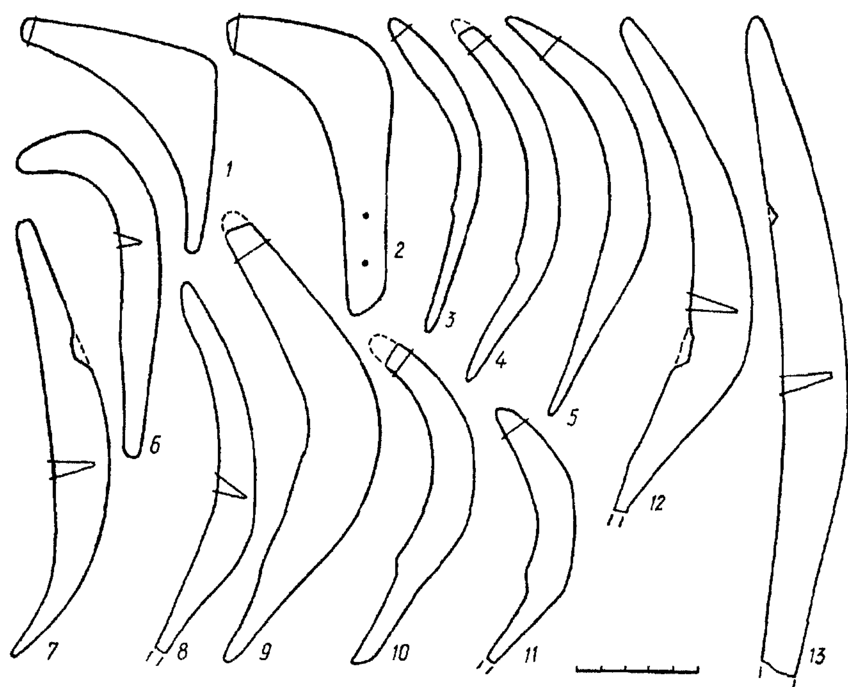
У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

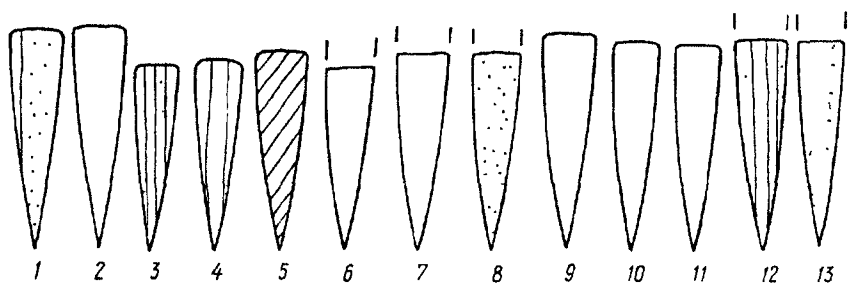
плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лягка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць палiва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі пастулова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 Р 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

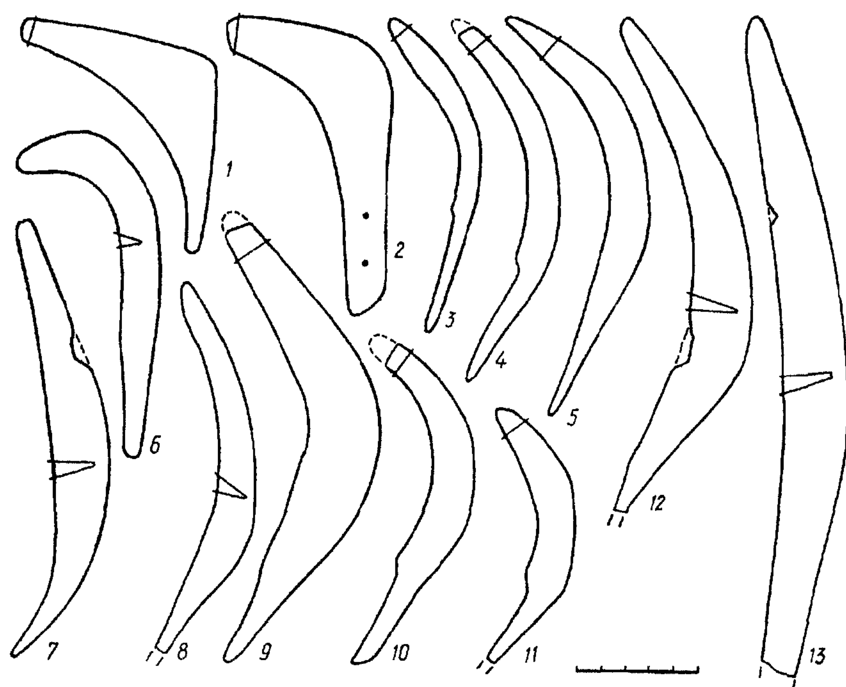
Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

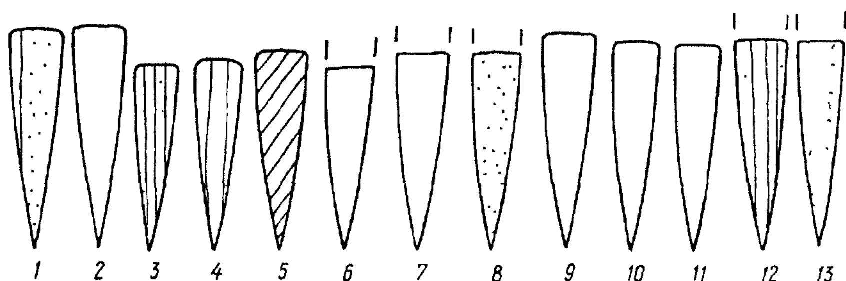
плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжэнні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

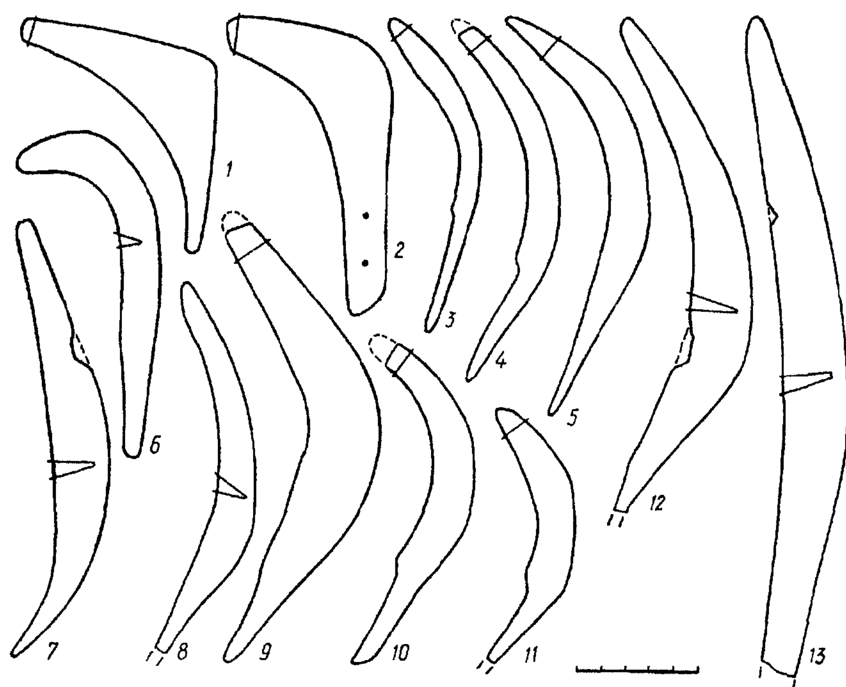
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

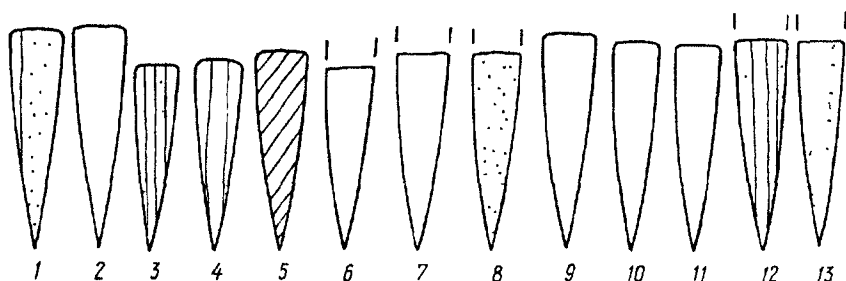
Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Ёсць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ён жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць палiва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

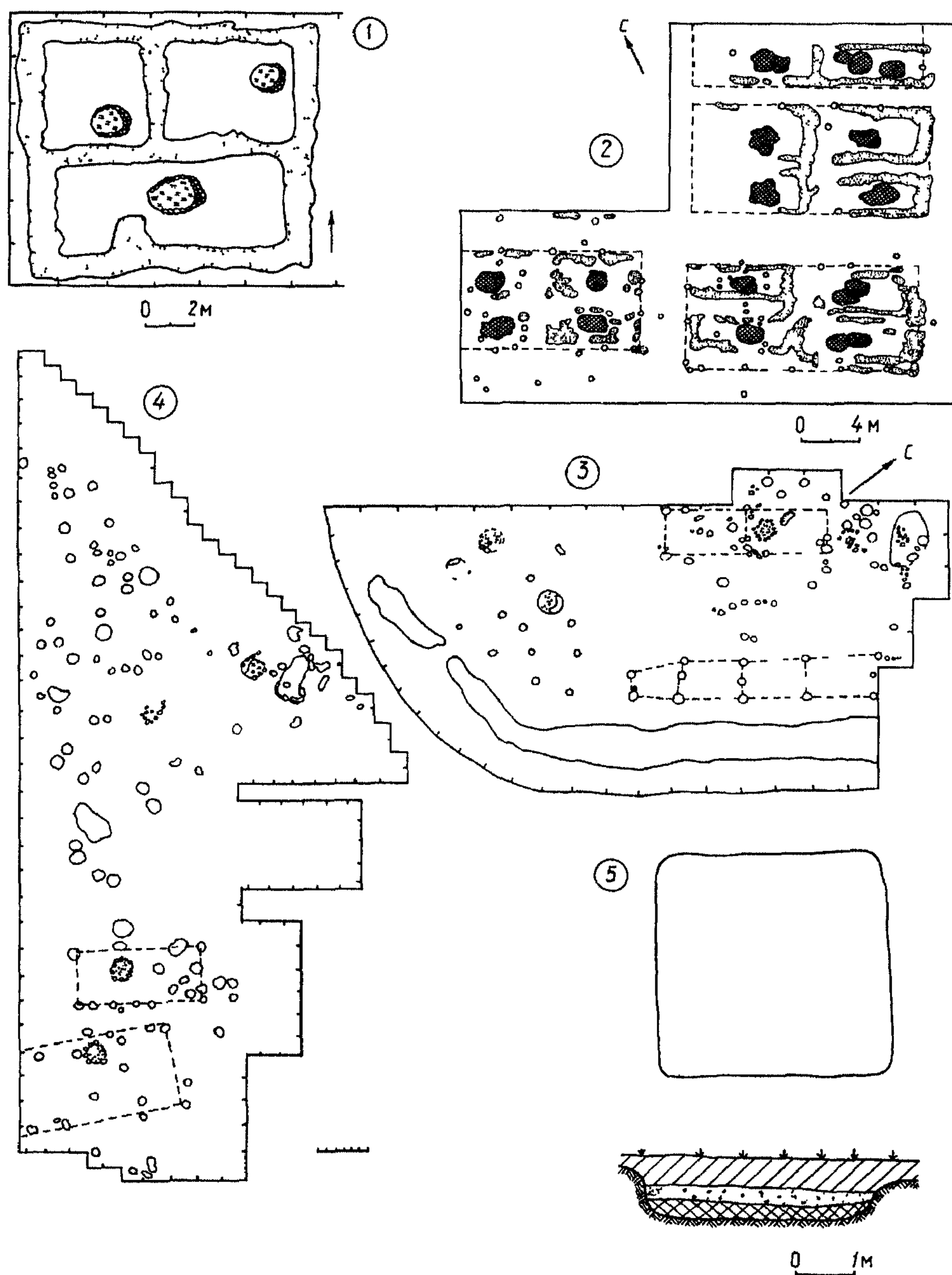
Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху гліняною накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка, памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў глінянай урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі глінянага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэшткаў пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).



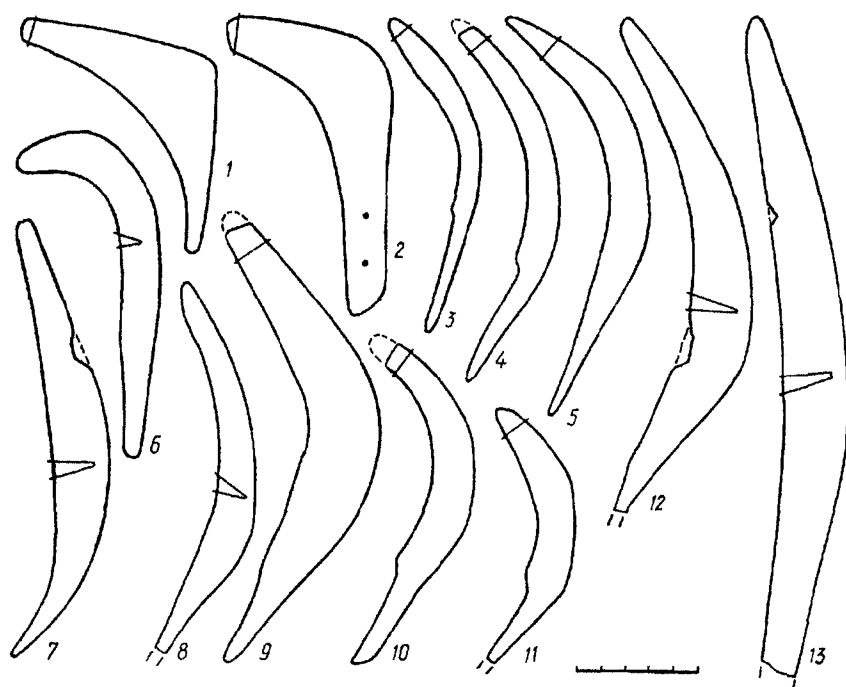
Мал 39 Планы жытлаў культуры штрыхаванай керамікі 1 — Вязынка, 2 — Малышкі, 3 — Васількоўка, 4 — Лабеншчына, 5 — Мыслі (1—4 — па А Р Мітрафанаву, 5 — па М Ф Гурыну)

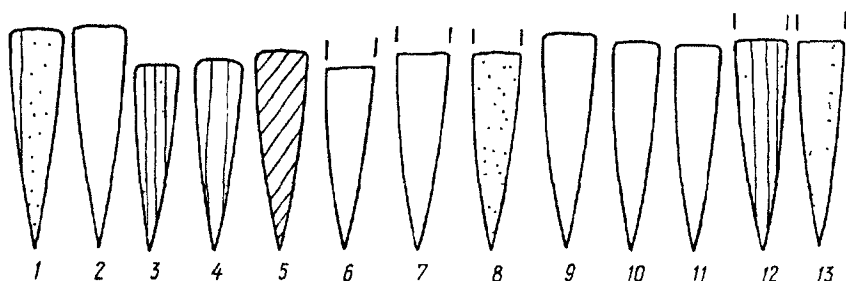
плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адклададанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць дследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза пасляхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

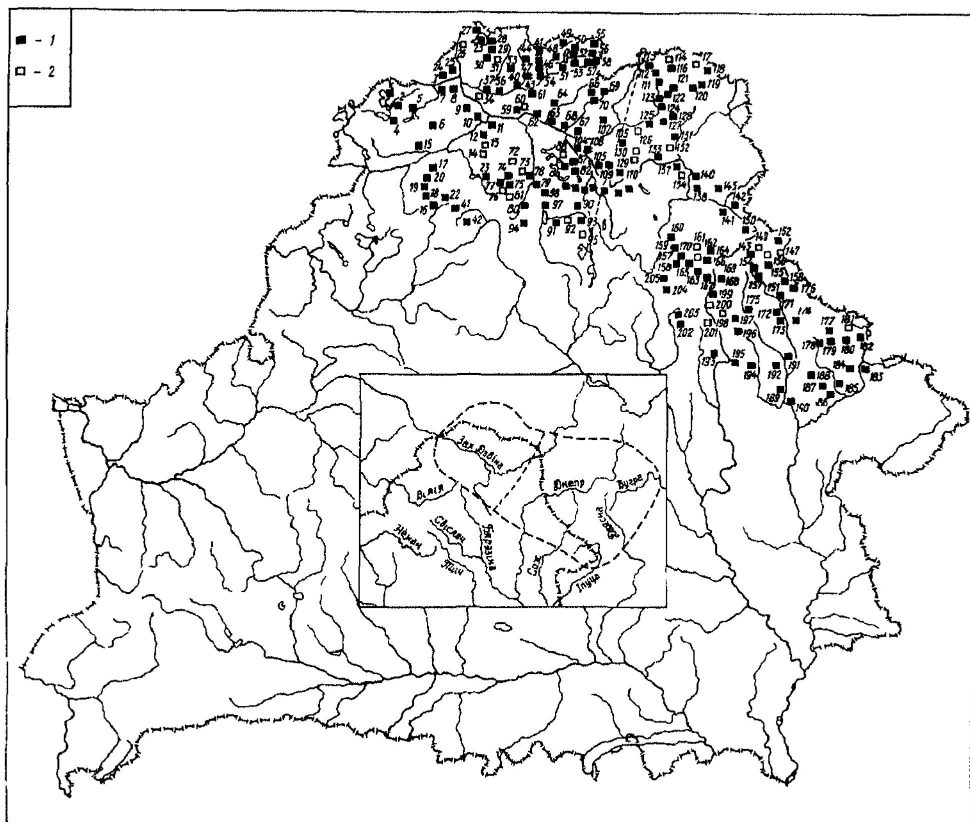
Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху гліняную накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў глінянай урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі глінянага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэштакаў пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).



Мал. 52. Помнікі днепра-дзвінскай культуры на Беларусі

Умоўныя абазначэнні. 1 — гарадзішчы з даследаваннямі; 2 — недаследаваныя, 3 — мяжа заходняга (заходнедзвінскага) і ўсходняга (смаленскага) варыянтаў культуры

1 — Слабодка, 2 — Рацюнкі, 3 — Шавуны, 4 — Замошша, 5 — Укля, 6 — Сабалеўшчына, 7 — Гвардзейская (Кукішы), 8 — Чурылава, 9 — Панізава, 10 — Шарагі, 11— Мазурына, 12 — Субачава, 13 — Язна, 14 — Паддубнікі, 15 — Пілаты, 16 — Падгаі, 17 — Запрудзе, 18 — Латыгаль, 19 — Зарубіна, 20 — Удзела, 21 — Зубкі, 22 — Шыпы, 23 — Псуя, 24 — Сушкі 25 — Малое Абухава, 26 — Урагава, 27 — Васілеўшчына, 28 — Царкоўна, 29 — Чапаеўскае 30 — Дубровы, 31 — Абрамава, 32 — Гарадзілавічы, 33 — Маскаленкі, 34 — Цясты, 35 — Дадзкі, 36 — Барсукі 37 — Княжыцы 38 — Дзегцярова, 39 — Асеткі, 40 — Пескаватка, 41 — Варганы, 42 — Бірулі, 43 — Сакалішча, 44 — Сінск, 45 — Межава 46 — Грачушына, 47 — Даўаабор'е, 48 — Заазёр'е, 49 — Рылі, 50 — Старыца, 51 — Межна, 52 — Латышы, 53 — Няшчэрда 54 — Янкавічы, 55 — Хоцькава, 56 — Перавоз, 57 — Амосенкі, 58 — Карпіна, 59 — Якубенкі, 60 — Гаравыя, 61 — Баркі, 62 — г Полацк, 63 — Мінтурова, 64 — Палата, 65 — Дзявічкі, 66 — Труды, 67 — Смарыгі 68 — Гараны, 69 — Арлея, 70 — Званаа, 71 — Зааацце, 72 — Гарадок, 73, 74 — Замошша, 75 — Лісічна, 76 — Кублічы, 77 — Белюкоўшчына, 78 — Ваўчо, 79 — Ушачы, 80 — Гарадзец, 81 — Чамярычна, 82 — Турасполле, 85 — Старыя Тарасы, 86 — Бадзяліна, 87 — Селішча, 88 — Зааавапіна, 89 — Падрэзы, 90 — Малая Вядрэнь, 91 — Азерцы, 92 — Бароўна, 93 — Заглінніні, 94 — Аўгустова (Звязда), 95 — Кастрыца, 96 — Камань 97 — Стары Лепель, 98 — Стараселле, 99 — Бортнікі, 100 — Стрыжава, 101 — Застарынне, 102 — Рубеж, 103 — Чарнагосце, 104 — Запруддзе, 105 — Гародна, 106 — Галі, 107 — Гарадзішча, 108 — Кардон, 109 — Сінякова 110 — Бокішава, 111 — Бібіна, 112 — Цары, 113 — Лахі, 114 — Марчанкі, 115 — Жукава, 116 — Шнітніца 117 — Ляпеўшчына, 118 — Сцяпанавічы, 119 — Затарочча 120 — Селязні, 121 — Вышадкі, 122 — Бяскатава 123 — Бярозна, 124 — Буракова; 125 — Пруднікі, 126 — Казінова, 127 — Баравыя, 128 — Кулі, 129 — Старое Сяло, 130 — Заронава, 131 — Дрыколле, 132 — Лужасна, 133 — Зайцава, 134 — Баронікі 135 — Жалнерава, 136 — Мяклова, 137 — Канькі, 138 — Кузьменцы 139 — Белынічы, 140 — Шалуры, 141 — Бабінавічы, 142 — Выхадцы, 143 — Буракі, 144 — Замошша, 145 — Машчаны, 146 — Новае Сяло, 147 — Кісялі, 148 — Барадзіно, 149 — Карабанавічы 150 — Дняпроўка, 151 — Іраяніца, 152 — Ляды, 153 — Баева, 154 — Малое Бахава, 155 — Чырына, 156 — Вежкі, 157 — Дзяругі 158 — Сімахі, 159 — Рэпухава, 160 — Забалоцце, 161 — Чаркасава 162 — Горная Верабойша, 163 — Барэйшава, 164 — Вялікае Бабіна 165 — Пагост, 168 — Рагозіна, 167 — Яромкавічы, 168 — Вусце, 169 — Барадзіно, 170 — Кучына, 171 — Войкаўшчына 172 — Добрая, 173 — Затоны-1, 174 — Навасёлкі, 175 — Маслакі, 176 — Касцюшкова 177 — Асмолавічы, 178 — Усполле, 179 — Ходасы 180 — Куркаўшчына, 181 — а Мсціслаў; 182 — Каробчына, 183 — Ягораўка, 184 — г Крычаў, 185 — Горкі, 186 — Камаровічы, 187 — Наркі, 188 — Юдава, 189 — Высокае, 190 — Прылёпаўка, 191 — Радамля, 192 — Селішча, 193 — Палыкавічы-1, 194 — Сухары, 195 — Фойна, 196 — Дубраўка, 197 — Благаўка, 198 — Княжыцы, 199 — Ржаўцы, 200 — Гарадок, 201 — Царкавішча, 202 — Смятанічы, 203 — Чарнаручча, 204 — Стараселле, 205 — Карзуны

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў лімантаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 Р 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

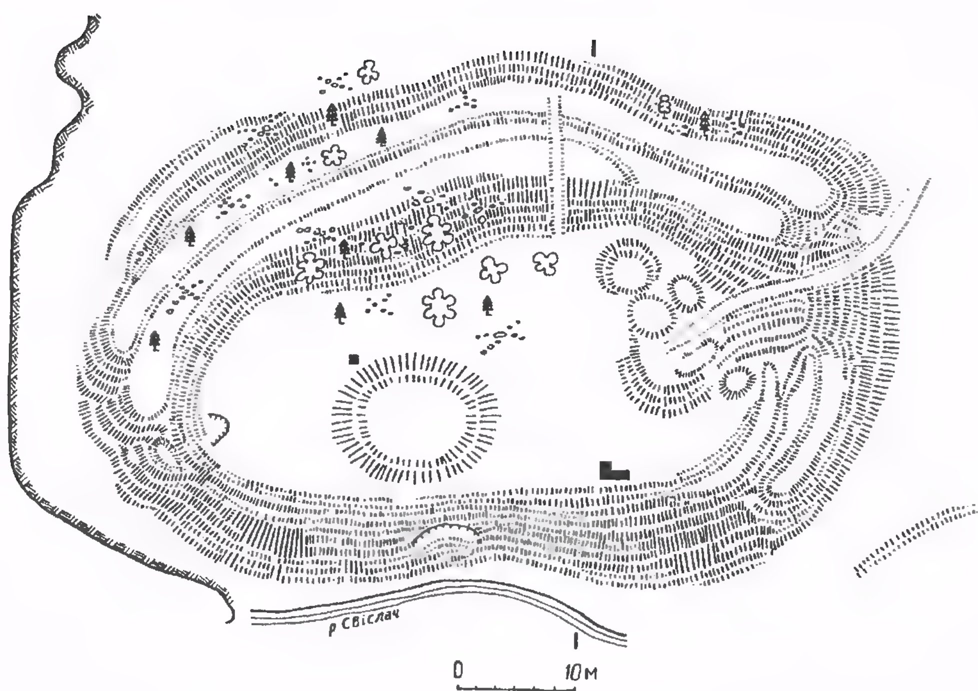
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лепка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,



Мвл. 113. План Банцараўскага гарадзішча (па Л. С. Клейну, 1948)

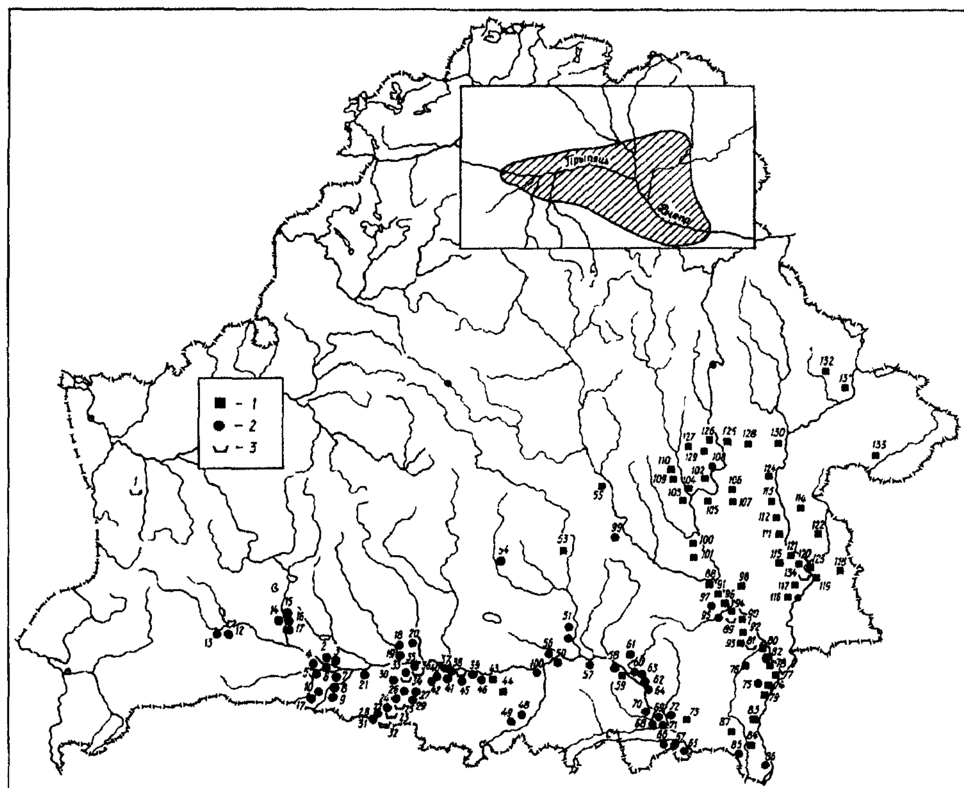
Мал. 114. Селішча Гарадзішча. Раскопкі жытла № 6

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



Мал. 67. Зарубінецкая культура. Умоўныя абазначэнні: 1 — гарадзішчы; 2 — селішчы; 3 — могільнікі

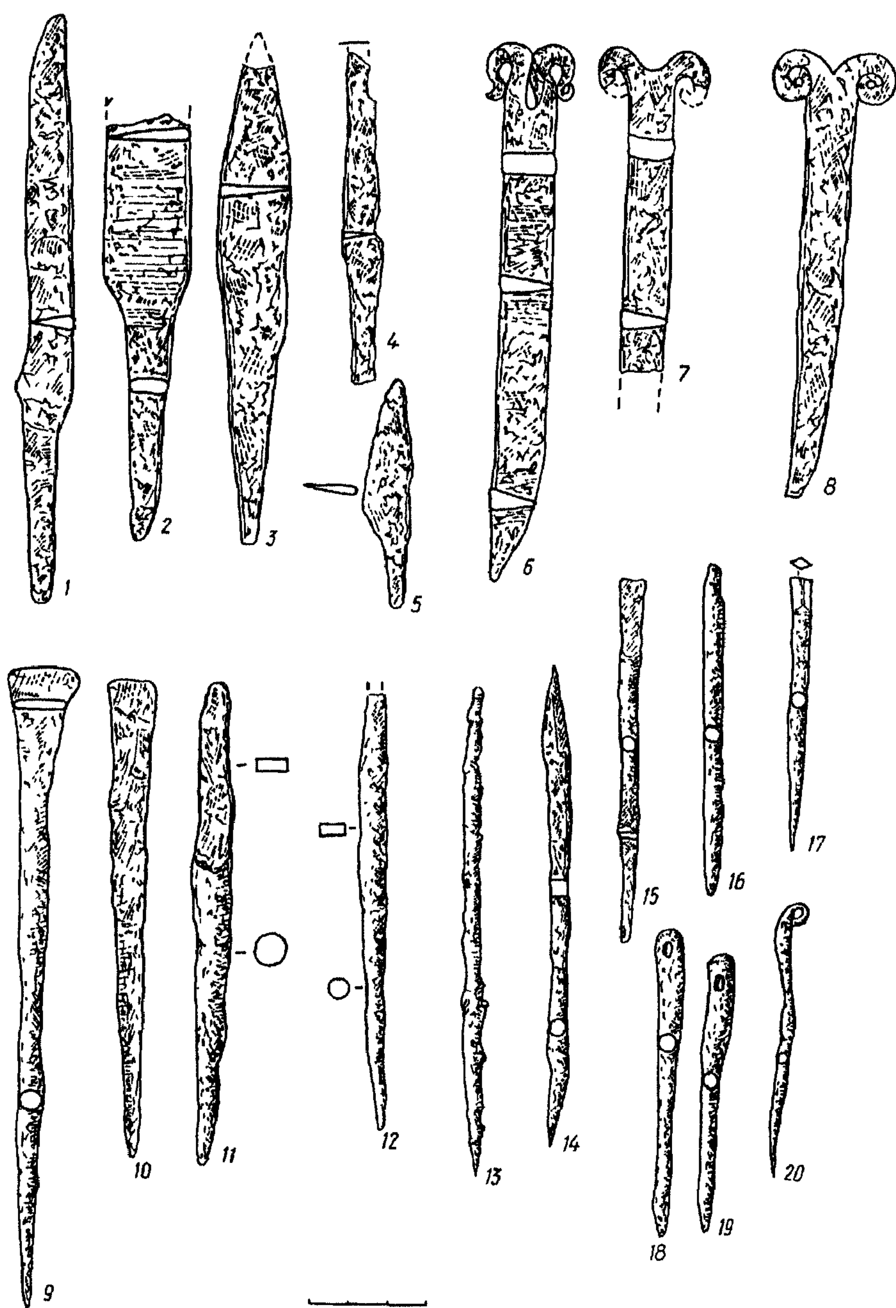
1 — Краснасельскі, 2 — Гарадзішча, 3 — Астравічы, 4 — Церабень-1, Церабень-2, 5 — Лемяшэвічы-1, Лемяшэвічы-3, 6 — Курадава-1, Курадава-2, 7 — Лапаціна, 8 — Ласіцк, 9 — Вешня, 10 — Востраў-1, Востраў-2, 11 — Парэ, 12 — Моталь, 13 — Упірава, 14 — Бакінічы, 15 — Баркі, 16 — Камень, 17 — Пагост-Загародскі, 18 — Кажан-Гарадок, 19 — Лахва, 20 — Намокрава, 21 — Плотніца, 22, 23 — Атвержычы, 24, 25 — Рубель, 26, 27 — Велямічы-1, Велямічы-2, 28 — Вікаровічы 1—3, 29 — Хотамель, 30 — Беражное, 31, 32 — Бухліцкі хутар, 33 — Рамель, 34 — Хотамель, 35 — Давыд-Гарадок, 36 — Аздамічы, 37 — Верасніца, 38 — Дварэц, 39 — Пагост, 40 — Запясочча, 41 — Семурадцы, 42 — Рычаў, 43 — Пераров, 44 — Пераровскі Млынок, 45 — Вароніна, 46 — Азяраны, 47 — Снядзін, 48 — Мікашэвічы-1, 49 — Мікашэвічы-2; 50 — Навасёлкі, 51 — Лучыцы 52 — Слабодка Чэлюшчeвіцкая, 53 — Халопенічы, 54 — Любань, 55 — Шчаткава, 56 — Макаравічы, 57 — Жахавічы, 58 — Мазыр 60 — Града, 61 — Пеніца, 62 — Слабодка 1—3, 63 — Юравічы 1—3, 64 — Абухаўшчына, 65 — Беласарока, 66 — Бярозаўка, 67 — Вепры, 68 — Вярбовічы, 69 — Канатоп-1, Канатоп-2; 70 — Нароўля, 71 — Цешкаў; 72 — Кажушкі, 73 — Гноева, 74 — Гарадок-1 Гарадок-2; 75 — Дзеражычы, 76 — Ліпнякі, 77 — Лоеў; 78 — Мохаў-1, Мохаў-2; 79 — Бывалкі, 80, 81, 82 — Чаплін, 83 — Асарэвічы, 84 — Капорынка, 85 — Калыбань, 86 — Камарын, 87 — Каманава, 88 — Гораль-1, Горваль-2, 89, 90 — Гарошкаў, 91 — Глыбаў, 92 — Заспа-1, Заспа-2; 93 — Калочын-1, Калочын-2; 94 — Луначарск, 96, 97 — Мілаград, 98 — Чорнае, 99 — Дражня, 100 — Чырвоная Горка, 101 — Праскурні, 102 — Кісцяні, 103 — Пучын-1, Пучын-2, 104 — Рагачоў, 105 — Шапчыцы, 106 — Цагельня, 107 — Хмяпянец, 108 — Шчыбрын, 109 — Азяраны, 110 — Хамічы, 111 — Шапатовічы, 112 — Чачэрск, 113 — Ворнаўка, 114 — Нісімкавічы, 115 — Увараевічы, 116 — Любны, 117 — Пакалюбічы, 118 — Вылева, 119 — Ветка, 120 — Навасёлкі, 121 — Прысна-1, Прысна-2, 122 — Сеяцілавічы, 123 — Шарсцін, 124 — Ворнаўка, 125 — Абідавічы, 126 — Баркалабава, 127 — Вязьмы, 128 — Дабужа, 129 — Янава, 130 — Луначарск, 131 — Крычаў; 132 — Гарадок, 133 — Белая Дуброва, 134 — Юркавічы

вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху гліняную накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка, памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

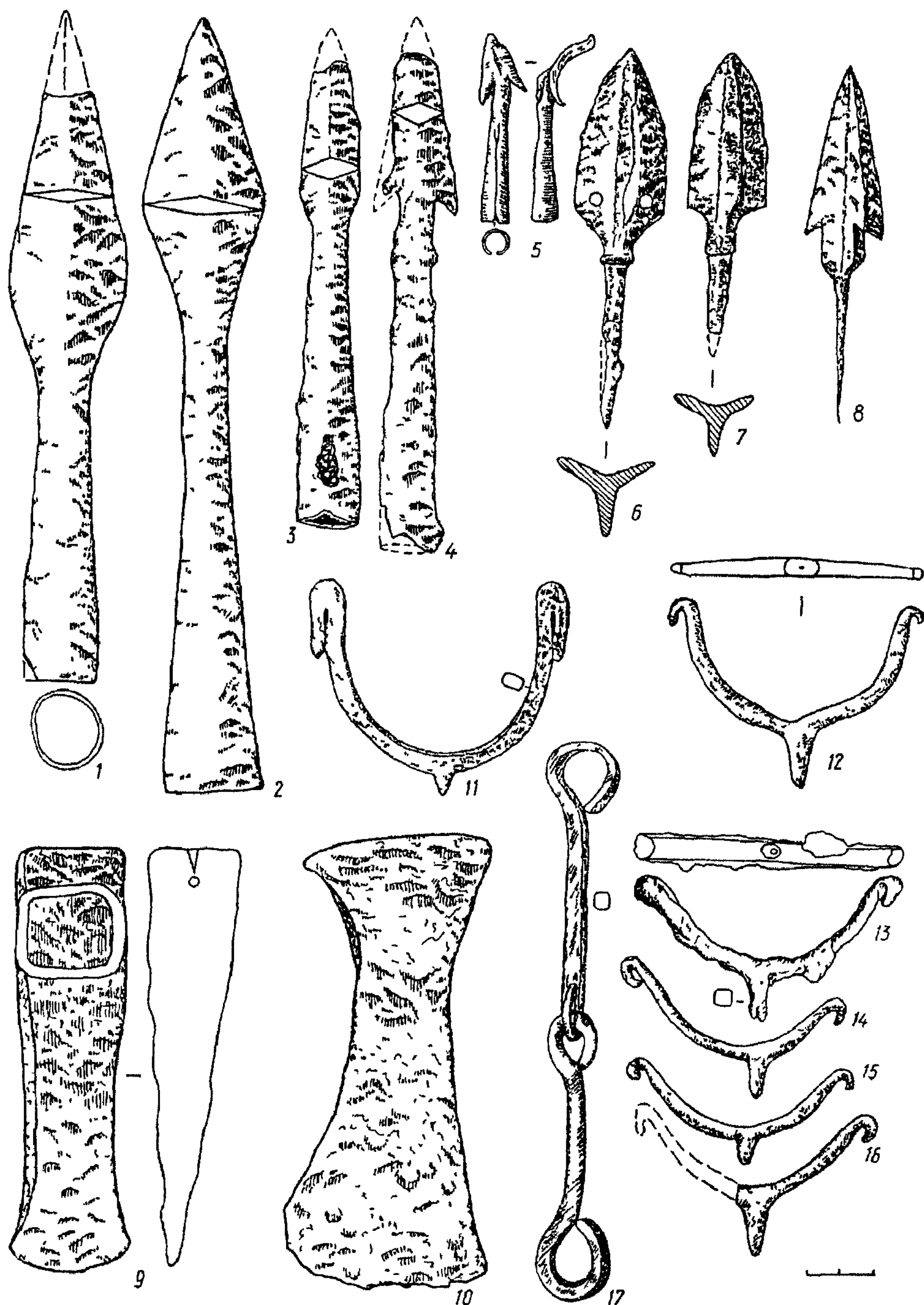
З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў глінянай урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі глінянага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэшткаў пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).



Мал. 118. Вырабы з жалеза банцараўскай культуры: 1,5,8,10,12 — селішча Гарадзішча, 2,3,6,7 — селішча Равячка; 9,11,14—20 — гарадзішча Гарадзішча; 13 — саліішча Дзядзілавічы



Мал 119 Зброя і рыштунак вершніка банцараўскай культуры 1, 14 — селішча Гарадзішча, 2, 8 — гарадзішча Казінаба, 3, 4, 6, 7, 11 — гарадзішча Нікадзімава, 5 — гарадзішча Сапа-1, 9, 15, 16 — Кастрыца, 13 — гарадзішча Гарадок

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 Р 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

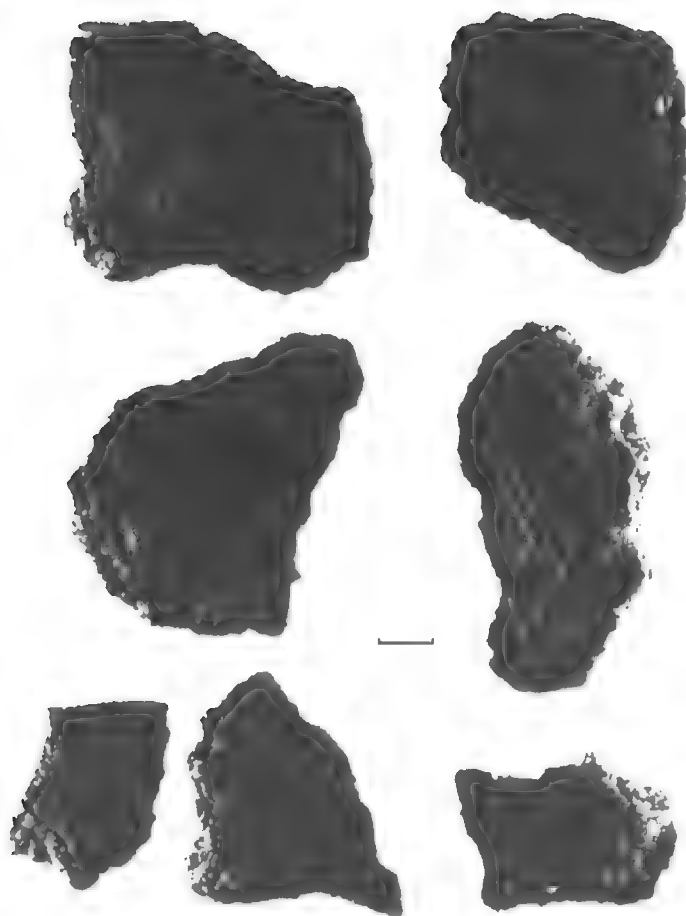
Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,



Мал. 126. Бельчыца. Курган 11. Кераміка з расчосамі з культурнага пласта пад насыпам (фотаздым.)

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

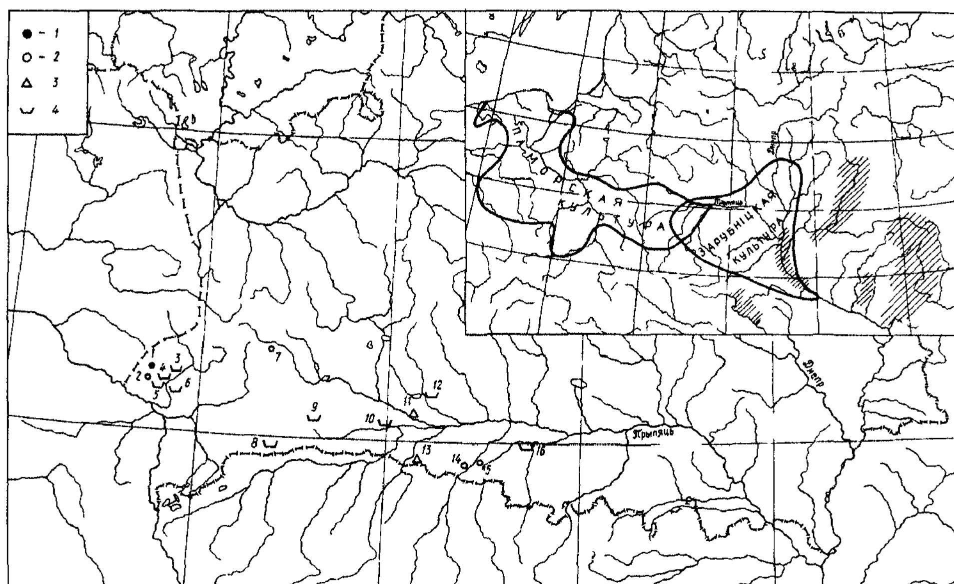
Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-



Мал 36 Карта помнікаў паморскай культуры на тэрыторыі Беларусі Умоўныя абазначэнні
1 — даследаваныя пасапішчы, 2 — сапішчы, 3 — масцазнаходжанні, 4 — грунтавыя могільнікі

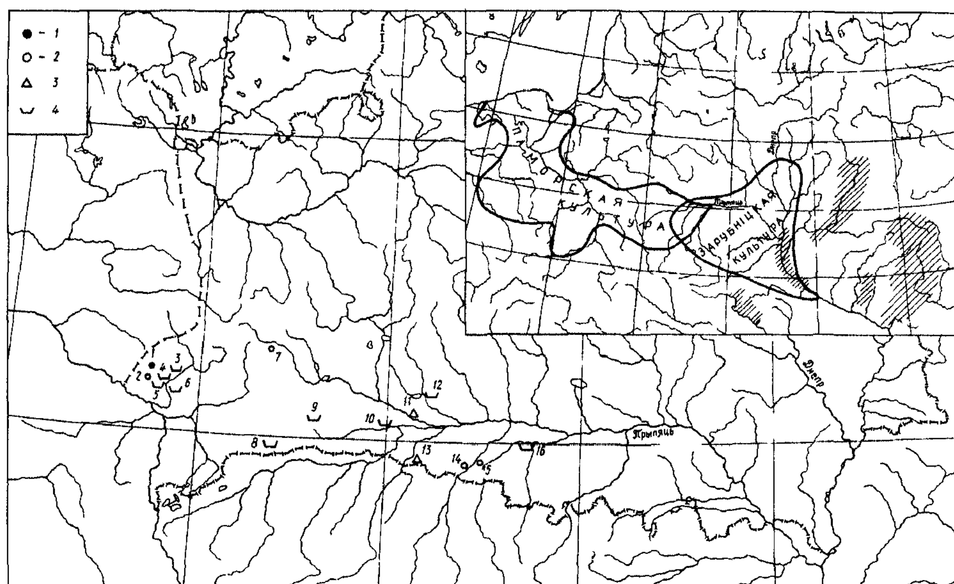
1 — Агароднікі (Кусічы), 2 — Хмялі, 3 — Ратайчыцы, 4 — Трасцяніца, 5 — Уладычыца, 6 — Дружба (Скорбічы), 7 — Харава, 8 — Пелікава, 9 — Драгічын, 10 — Пінск-Альбрэхтова, 11 — Гарадзішча, 12 — Камань, 13 — Вашня, 14 — Бухліцкі хутар, 15 — Вікаравічы, 16 — Аздамічы

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



Мал 36 Карта помнікаў паморскай культуры на тэрыторыі Беларусі Умоўныя абазначэнні
1 — даследаваныя пасалішчы, 2 — салішчы, 3 — масцазнаходжанні, 4 — грунтавыя могільнікі

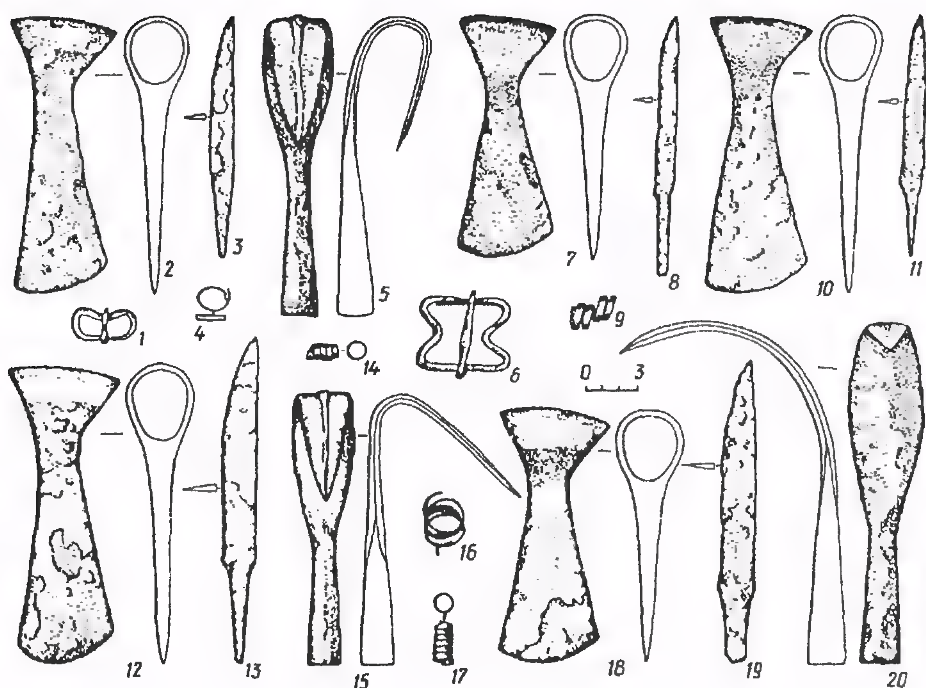
1 — Агароднікі (Кусічы), 2 — Хмялі, 3 — Ратайчыцы, 4 — Трасцяніца, 5 — Уладычыца, 6 — Дружба (Скорбічы), 7 — Хорава, 8 — Пелікава, 9 — Драгічын, 10 — Пінск-Альбрэхтова, 11 — Гарадзішча, 12 — Камань, 13 — Вашня, 14 — Бухліцкі хутар, 15 — Вікаравічы, 16 — Аздамічы

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

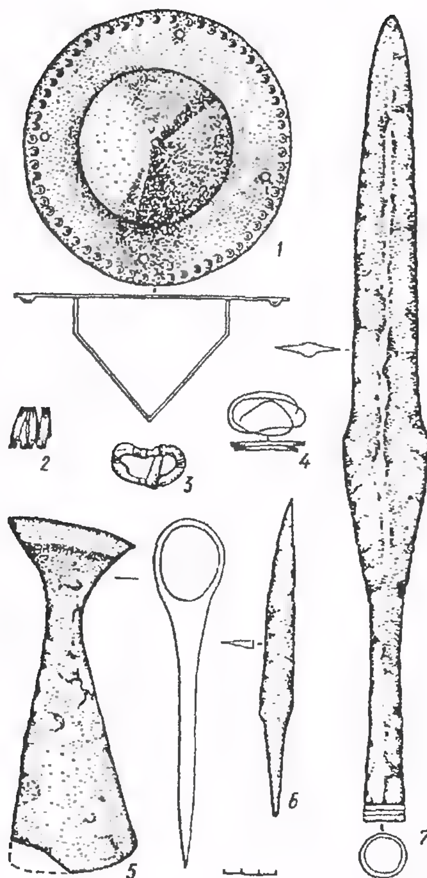
Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,



Мал. 133. Інвентар з курганоў каля в. Засвір (па Я. Г. Звяругу): 1, 6 — спражкі; 2, 7, 10, 12, 18 — сякеры; 3, 8, 11, 13, 19 — нажы; 4, 9, 14, 16, 17 — спіралькі; 5,1 5, 20 — наканечнікі дзід



Мал. 134. Рыштунак мужчыны-ваяра з могільніка Засвір (курган 1, пах. 2) (даследванні Я. Г. Зверугі 1976 г.): 1 — умбон шчыта; 2, 4 — спіралькі; 3 — спражка з В-падобнай рыфлёнай рамкай; 5 — вузкалязовая сякера; 6 — нож; 7 — наканечнік дзіды

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Ёсць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах змяніць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Mirošŝayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза пасляхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трзба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Ёсць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высвятліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні віостыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза пасляхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 Р 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць дaследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трзба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза пасляхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы вылучаюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме нёманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзён і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трзба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху гліняную накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў гліняной урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі гліняпага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэшткаў пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі аднаўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі аднаўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныяназіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжэнні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні віостыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

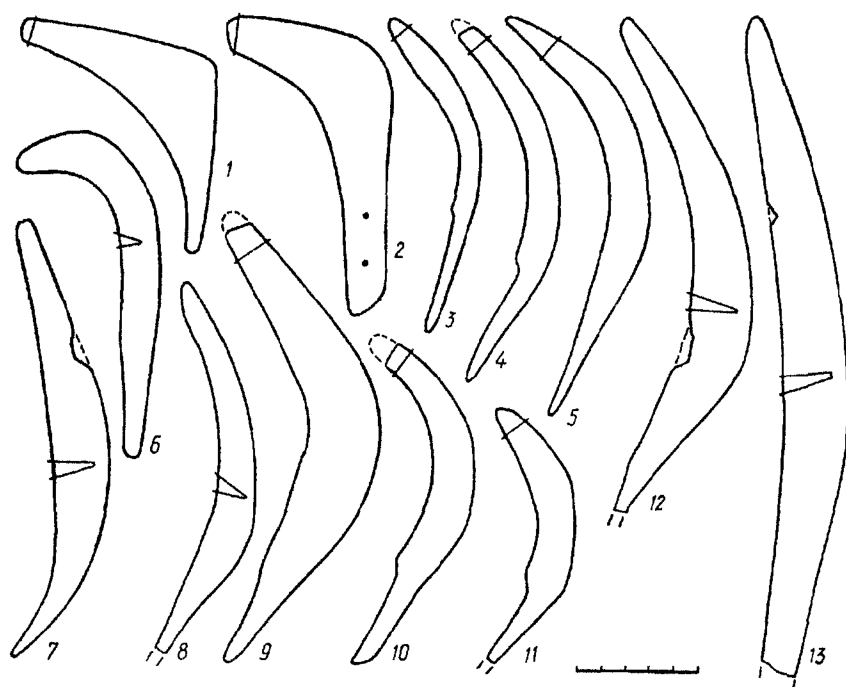
У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

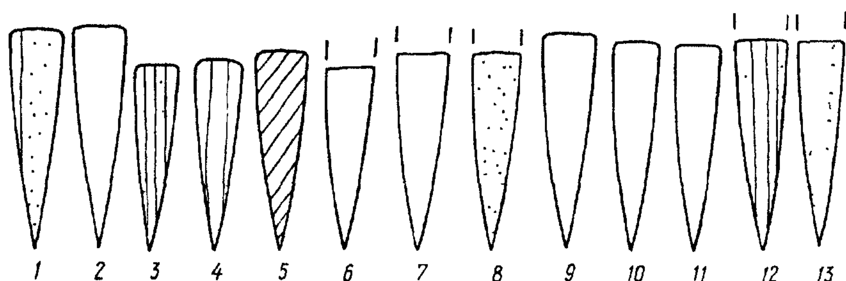
Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-





Мал. 7. Сярпы жалезнага веку і тэхналагічныя схемы іх выканання: 1 — Барсукі; 2 — Бораўна, 3 — Мыслі; 4 — Івань; 5 — Абідня; 6 — Пруднікі; 7 — Цясты; 8 — Тайманава; 9 — Лужасна, 10 — Лясная; 11 — Рацюнкі; 12 — Барсукі; 13 — Піскі

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца легка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўседы выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

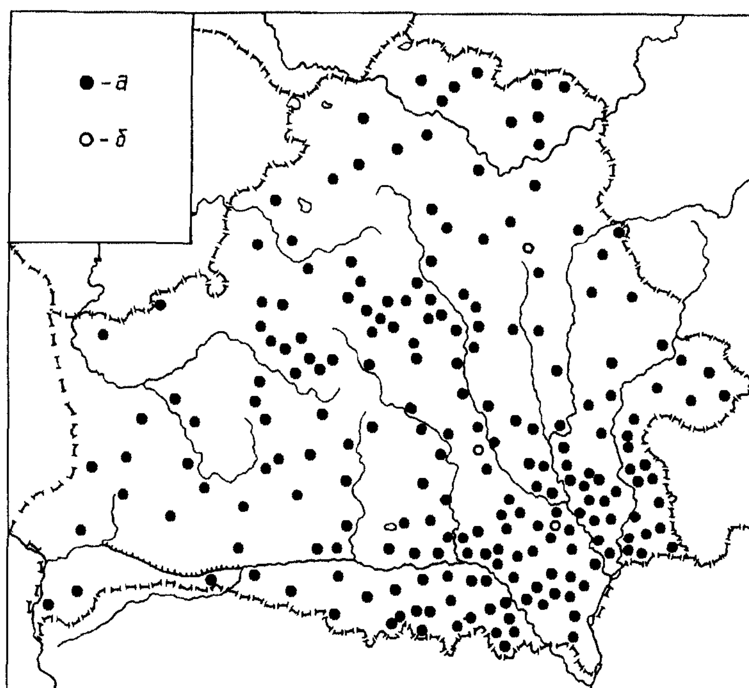
Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

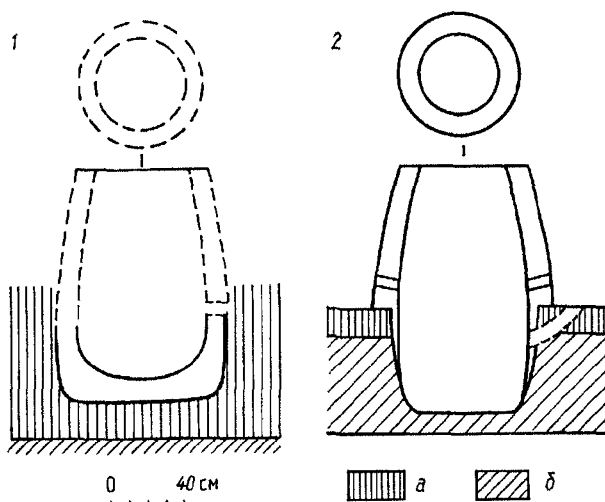
На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-



Мал 1 Карта-схема Беларусі з нанясеннем радовішчаў балотных руд Умоўныя абазначэнні а — буры жалязняк (ліманіт), б — гематыт Складзена на падставе няпоўных даных геалогіі (Блиодухо, 1952, Праца 1928, Тарановіч, 1935) а таксама археалогіі тапанімікі



Мал 2 Рэканструкцыі сырадутных печаў жалезнага веку (а — культурны пласт, б — мацярык), выяўленых на тэрыторыі Беларусі і Польшчы 1 — гарадзішча Кімія (па А М Ляўданскаму), 2 — свентакшыскі металургічны цэнтр (па К Бяленіну)

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахаладжэнні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

плаўлення некаторых часцінак Наяўнасць вадкай фазы спрыяла лягчэйшаму перамяшчэнню цвердых часцінак, змочвала іх паверхні, паскарала дыфузію розных кампанентаў і сам працэс спякання Вельмі важна, калі ў працэсе крыцаўтварэння вадкая фаза запаўняла поры і пустоты, што забяспечвала атрыманне крыц амаль тэарэтычнай шчыльнасці Інакш пустоты заставаліся і ў горшым выпадку запаўняліся шлакам, што забруджвала метал Дарэмна сцвярджаць, што шлакавыя ўключэнні можна было выціснуць з крыцы шляхам працяглай пластычнай апрацоўкі (Колчин, 1953 С 42, 45) Гэта было магчыма толькі пры коўцы да вельмі тонкай пласціны Часцей за ўсе ўключэнні шлаку застаюцца ў вырабах у больш ці менш дэфармаваным стане На мал 4 3 паказана запаўненне вадкай фазай (ледзебурыт) мікрапрасторы паміж перлітнымі часцінкамі, якое пры далейшых шматразовых нагрэвах для коўкі і звязаных з гэтым дыфузійных працэсах зменіць свой структурны выгляд

Пры значнай ізатэрміі ў розных зонах сырадутнай печы нават на працягу аднаго металургічнага цыкла навугляроджанне асобных канкрэцый было нярэдка разнастайным Далейшае спяканне іх у крыцы прыводзіла да таго, што размеркаванне вугляроду ў метале аказвалася неаднародным У некаторых крыцах яго ўтрыманне ў розных месцах вагаецца ад 0 да 1,2% (Anteins, 1976 Lpp 42), ды і самі крыцы па гэтым паказчыку значна адрозніваюцца (Stankus, 1996 S 57—58) Металаграфічныя назіранні дазваляюць акрэсліць характэрныя асаблівасці крычнага металу — высокую порыстасць і мноства шлакавых уключэнняў, якія часцей за ўсе прадстаўлены фаялітам (70% FeO і 28% SiO_2) Бываюць таксама і двухфазныя ўключэнні, дзе на цемным фоне фаяліту маюцца светлыя ўкрапленні вюстыту (100% FeO) Выкарыстанне спецыяльных рэактываў наглядна паказала, што вуглярод, а таксама злучэнні фосфару і серы размеркаваны ў метале нераўнамерна Часта сустракаюцца ферыта-перлітныя структуры, іншы раз з цэментытам (мал 4 4) Есць высокавугляродзістыя крыцы, для якіх характэрны перліт, цэментыт і ледзебурыт Трапляюцца канкрэцыі са структурамі белага і нават шэрага чыгуну (мал 4 5,6) (Гурин, 1982 С 27—35, Ен жа, 1988 С 370—373)

Адзначаныя характэрныя рысы зыходнага металу вывучалі і даследчыкі з суседніх краін Напрыклад, у крыцы, знойдзенай пад Ковелем (Заходняя Украіна), якая датуецца познарымскім часам, побач з ферытам і перлітам маецца ледзебурыт (Mazur, Nosek, 1965 S 113) Структуры ферыту перліту, цэменціту, ледзебурыту і нават графіту выяўлены ў канкрэцыях і крыцах з тэрыторыі Польшчы (Nosek, 1964 S 167) У некаторых выпадках крыцы маюць ферыта-перлітную структуру ў сярэдняй частцы і значна навугляроджаны прыпаверхневы слой, у якім назіраюцца структуры белага чыгуну ў выглядзе астраўкоў перліту на фоне цэменціту (Piaskowski, 1960 S 576) Нераўнамернае і высокае навугляроджанне жалеза пры аднаўленні з руды і крыцаўтварэнні адзначаецца многімі даследчыкамі, якія праводзілі навуковыя эксперыменты па мадэляванню сырадутнага працэсу (Колчин, Круг, 1965 С 198, Pleiner, Radwan, 1962 S 315—318, Souchopová, 1995 S 51)

У шматлікіх канкрэцыях, выяўленых у кавалках шлаку, ферыт і перліт набылі выгляд відманштэтавай структуры, што сведчыць аб хуткім ахалоджанні шлакаў, якія, напэўна, перыядычна выпускаліся з печы Вывучэнне шлакаў дае важную навуковую інфармацыю па розных праблемах старажытнай металургіі жалеза Напрыклад, вялікія глыбы шлака паказваюць, што майстры выкарыстоўвалі для аднаўлення жалеза печы са шлаказборнікам Вугалькі ў шлаку і адбіткі на кавалках шлаку даюць магчымасць высветліць,

вялікі дрэнна абпалены гаршчок карычневага колеру, накрыты зверху гліняную накрыўкаю. Вакол урны ў форме няправільнага прамакутніка памерам 2 × 0,95—0,4 м выкладзены камяні. Урна змяшчалася ва ўсходняй частцы каменнай агароджы, а ў заходняй стаялі чатыры сасуды-прыстаўкі: чорнаглянцаваны міскападобны сасуд, міска, у сярэдзіне якой ляжалі кубак і збан. Некалькі камянёў ляжалі на гэтым посудзе (Никитина, 1964б. С. 70). Урны без сасудаў-прыставак і камянёў, накрытыя міскамі, выяўлены ў пахаваннях на могільніках у Драгічыне і Уладычыцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20). На могільніку ў Пінску кальцыніраваныя косці памерлага змяшчаліся ў урне, якая нагадвала сабою збан з невялікім плоскім вушкам. Побач ляжалі абломкі посуду, у тым ліку і міскі (Кухаренко, 1966. С. 111—112). На парушанай неглыбокім кар'ерам паверхні шматкультурнага помніка каля в. Аздамічы на глыбіні ад 0 да 0,3 м на плошчы каля 0,5 м у дыяметры знойдзена невялікая колькасць кальцыніраваных касцей разам з трыма пашкоджанымі сасудамі (мал. 34:1—3). Адзін з іх меў вазападобную форму, другі — акруглабокае тулава і высокую шыйку, адхіленую ў верхняй частцы вонкі, ад трэцяга захавалася ніжняя частка да найбольшага пашырэння тулава (Вергей, 1995. С. 97. Рис. 4:1—3). Хутчэй за ўсё гэта ўрнавае пахаванне, падобнае на пахаванне ў Пінску.

З двух клёшавых пахаванняў пахаванне са Скорбічаў было напаўразбуранае (Кухаренко, 1961. С. 20), а з Драгічына захавалася добра. Яно мела класічную форму. Ачышчаныя ад пахавальнага вогнішча косці нябожчыка змяшчаліся ў глінянай урне, якая была прыкрыта перавернутаю міскаю, а ўсё гэта зверху накрываў вялікі клёш, пастаўлены дном уверх (Никитина, 1964б. С. 70). У ямных пахаваннях косці ссыпаліся прама на дно ям, якія мелі авальную або круглую ў плане форму, дыяметрам да 0,5 м і глыбінёю да 0,6 м. Разам з касцямі сустракаюцца абломкі глінянага посуду і пашкоджаныя агнём фрагментаваныя рэчы (Никитина, 1964б. С. 70—72).

Перапаленыя косці ў пахаваннях звычайна старанна ачышчаны ад рэшткаў пахавальнага вогнішча. Толькі ў ямным пахаванні 3 на могільніку каля Драгічына кальцыніраваныя косці змяшалі з вуголлем і попелам (Никитина, 1964а. С. 43). Урны не заўсёды ўтрымлівалі астанкі адной асобы. У пахаванні, выяўленым на могільніку ў Трасцяніцы, у гліняны гаршчок, які выконваў ролю ўрны, ссыпалі косці двух нябожчыкаў (Караткевіч, Каробушкіна, 1993. С. 612).

Па характару пахавальнага абраду і інвентару могільнікі, што даследаваліся на Беларускім Палессі, маюць прамыя і шматлікія аналогіі помнікам паморскай культуры, выяўленым у іншых рэгіёнах яе распаўсюджвання. Усюды ў пахаваннях пераважаюць знаходкі керамічных вырабаў. Металічныя і шкляныя рэчы або іх фрагменты сустракаюцца даволі рэдка. Часта яны пашкоджаны агнём. Відаць, нябожчыка спальвалі па-за межамі могільніка ў адзенні, у асобных выпадках аздобленым металічнымі або шклянымі аксесуарамі. У Трасцяніцы, як і на могільніках іншых тэрыторый, адкрыты ямы, запоўненыя попелам, вуголлем, фрагментамі керамікі (Трансбур, Варшава-Грохуў, Варшава-Хенрыкуў). Цяжка патлумачыць іх функцыю. Выказана меркаванне, што яны маглі выконваць ролю рытуальных памінальных (задушных) вогнішчаў (Kietlińska, Mikłaszewska, 1963. S. 288). Не з'яўляюцца мясцовай асаблівасцю выпадкі абкладвання ўрны камянямі або каменныя вымасткі пад імі, як у Трасцяніцы (Никитина, 1964б. С. 70; Кухаренко, 1961. С. 20), ці накрыццё ўрнаў камянямі, як у Ратайчыцах (Кухаренко, 1961. С. 20).

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза пасляхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Цербахунь і інш Фрагментарнасць даследаваных печаў не дазваляе зрабіць належную рэканструкцыю (мал 2), хоць яе спроба можа быць рэальнай пры ўліку матэрыялаў з суседніх краін — Польшчы (Belenin, 1966 S 39—50), Украіны (Бідзіля, 1970 С 34—47, Паньков, 1982 С 206—212, Пачкова, 1970 С 142—150, Балагури, 1975 С 274), Славакіі (Mihok, Miroššayova, 1994 S 1), Чэхіі (Pleiner, 1958 S 169) Трэба адзначыць, што названае А М Ляўданскім печчу скапленне гліны на гарадзішчы Лабеншчына было памылковае, таму не было прызнана спецыялістамі (Струмилин, 1954 С 13) Можна меркаваць, што найбольш аптымальнымі памерамі печаў былі вышыня каля 0,7 м і дыяметр да 0,9 м пры таўшчыні сценак каля 10 см, аднак у залежнасці ад матэрыялаў, выкарыстаных для будаўніцтва печы, яны маглі мець і іншыя параметры (Pawłowski, 1979 S 193, Gomori, 1980 S 318—319)

На жаль, для ранняга этапу развіцця металургіі ў нас няма звестак аб выкарыстанні соплаў для падачы паветра ў печ, а таксама аб форме мяхоў, якія былі неабходны і пры печы, і пры кавальскім горне

Для правядзення металургічнага цыкла ў папярэдне падрыхтаваную і належна разагрэтую печ засыпаліся паслойна здробненая і пракаленая руда і драўняны вугаль, а таксама вапна Пры гарэнні вугалю выдзяляецца вуглекіслата CO_2, якая адразу ж пераходзіць у вокіс вугляроду і ўступае ў рэакцыю з рудой У выніку гэтай да канца яшчэ не вывучанай рэакцыі ўзнікаюць мікраскапічныя часцінкі адноўленага жалеза, а парода руды шлакуецца Трэба адзначыць, што металургічны працэс адбываўся пры тэмпературах не вышэй за 1350 °С (Байков, 1948 С 342, Колчин, 1953 С 24) Гэта значыць, што расплаўленне жалеза не наступала, таму і выкарыстанне тэрміна «плаўка» не мэтазгодна Такая тэмпература не пераводзіла і шлак у вадкі стан, што спрыяла нармальнаму працяканню працэсу крыцаўтварэння Густацякучы стан шлаку (мал 3 6), які з'яўляўся складаным хімічным злучэннем пустой пароды з дамешкамі жалеза, марганцу і іншых элементаў, што ўтрымліваюцца ў рудзе, паліве і флюсах, быў тым асяроддзем, дзе мікрачасцінкі адноўленага жалеза паспяхова злучаліся паміж сабой (Савельев, 1963 С 39—40) Размешчаныя побач мікрачасцінкі спачатку наводзілі паміж сабой «масткі» (мал 4 2), рост якіх ажыццяўляўся дыфузійным пераносам масы рэчыва Гэта яскрава сведчыць аб цвердафазным спяканні (Гурин, 1988 С 368) Злучаючыся далей у групы, мікрачасцінкі паступова аб'ядноўваліся ў канкрэцыі, а далейшае спяканне іх стварала крыцы (мал 3 3,4), якія з'яўляюцца канчатковым металургічным прадуктам і зыходнай сыравінай для кавальства Вага крыц першапачаткова была невялікай — 50—100 грамаў (Гурин, 1982 С 27), а пазней майстры навучыліся атрымліваць крыцы масай у сотні грамаў

Металаграфічны аналіз канкрэцый, выяўленых у шлаку, і крыц, яшчэ не апрацаваных кавалямі, праведзены на аптычных і электронных мікраскопах (мал 4, 5), дазволіў не толькі глыбей пазнаць металургічны працэс, ацаніць якасць зыходнага жалеза, але і ўстанавіць, што спяканне мікрачасцінак у крыцы нярэдка адбывалася пры ўдзеле вадкай фазы (Gurin, 1996 P 122) Калі звярнуцца да дыяграмы «жалеза — вуглярод», становіцца відавочным, што значная колькасць часцінак і дробных канкрэцый, трапіўшых у зону, абмежаваную лініямі солідус і ліквідус, пераходзіла ў вадкі стан Пры залішняй наяўнасці вугляроду ў печы яго дыфузія ў мікрачасцінкі і іх скапленні адбывалася асабліва інтэнсіўна і навугляроджанне металу нават пры невысокіх тэмпературах дасягала значнай канцэнтрацыі, што прыводзіла да рас-

Такім чынам, з сярэдзіны 1-га тысячагоддзя да н э на тэрыторыі Беларусі наступіў век жалеза, сплавы якога (сталь, чыгун) і ў нашы дні складаюць звыш 90 % у агульнай здабычы і апрацоўцы металаў Таму ў нейкай ступені маюць рацыю тыя даследчыкі, якія лічаць, што жалезны век працягваецца

Праблема вывучэння металургіі і апрацоўкі жалеза ў Беларусі ўжо ў 20-я гады нашага стагоддзя цікавіла навукоўцаў Высокай ацэнкі заслугоўваюць працы А М Ляўданскага і К М Палікарповіча, С Баркоўскага і В Скардзіса, у якіх на археалагічных і архіўных матэрыялах разгледжана развіцце гэтай вытворчасці на беларускіх землях (Ляўданскі, Палікарповіч, 1932, Ляўданскі, 1933 Баркоўскі, Скардзіс, 1931)

Зямля Беларусі мела ўсе неабходнае для металургіі жалеза Хоць буйныя радовішчы жалезнай руды, выяўленыя геолагамі ў Стаўбцоўскім і Карэліцкім раенах, па глыбіні залягання (155—220 м) старажытным гарнякам былі недаступныя, яны з поспехам скарыстоўвалі невялікія радовішчы так званых балотных рудаў (мал 1), што залягаюць на глыбіні да 1,5 м і з'яўляюцца лёгка аднаўляльнымі злучэннямі Толькі на поўдні рэспублікі вядома больш за 150 дробных радовішчаў ліманітаў, охры, сідэрыту, глаўканіту з запасамі да дзвюх тысяч тон кожнае (БелСЭ Т 12 С 20) Некаторыя залежы выдзяляюцца больш значнымі запасамі руды ў сотні тысяч тон (Блиодухо, 1952 С 243) Адкладанні бурых жалезнякоў нярэдка прасочваюцца на плошчы многіх гектараў у поймах рэк Яны залягаюць у выглядзе пліт і кавалкаў розных памераў (мал 3 1 2) Аналізы хімічнага складу паказалі, што руды ўтрымліваюць ад 21,5 да 35% жалеза (Праца 1928 С 33 Блиодухо, 1952 С 178, 201, 227 Баркоўскі, Скардзіс, 1931 С 60) Акрамя жалеза, руды ўтрымліваюць вокіслы алюмінію, марганцу, нікелю, кобальту, злучэнні медзі, фосфару, хрому, ванадыю, а таксама арганічныя рэчывы Падрыхтоўка большасці гатункаў руд заключалася ў шматразовай прамыўцы, сушцы, здрабненні да памераў арэха і пракальванні на вогнішчы Аднак для некаторых рудаў пракальванне было непажаданым, напрыклад з радовішчаў у пойме неманскай Бярэзіны (Osiński, 1782 S 63) Падкрэслім, што балотныя руды былі асноўнай сыравінай для металургіі жалеза не толькі ў Беларусі, але нават на Урале і ў Сібіры ў XVII—XVIII стст (Де-Генин, 1937 С 70—71)

Даволі прыдатным палівам для металургіі жалеза быў драўняны вугаль у ім мала попелу і амаль няма серы і фосфару, якія з'яўляюцца шкоднымі дамешкамі і дрэнна ўплываюць на якасць металу Выпальванне вугалю ў Беларусі праводзілася кучным спосабам, што дазваляла атрымліваць паліва з утрыманнем агульнага вугляроду да 95% У залежнасці ад памераў кучы працягласць працэсу складала некалькі дзен і патрабавала пэўных ведаў і майстэрства Недахопу ў драўніне не было, але важна было прытрымлівацца тэрмінаў нарыхтоўкі дроў, правільнага складання іх у кучу, пакрыцця яе слоем галінак, імху і саломы, а таксама зямлі, забеспячэння прытоку паветра і адводу газаў, каб не дапусціць выбухаў, якія маглі разбурыць кучу (Коробкин, 1948 С 259—264)

Для паспяховага правядзення металургічнага працэсу патрэбна была таксама і вапна, хоць няма ўпэўненасці ў тым, што яна заўсёды выкарыстоўвалася старажытнымі майстрамі Залежы вапны часта сустракаюцца на тэрыторыі Беларусі ў выглядзе даламіту, мергельна-мелавых парод і інш (Таранович, 1935 С 556, БелСЭ Т 12 С 18) Для будаўніцтва сырадутных печаў металургі скарыстоўвалі гліну, залежы якой сустракаюцца амаль паўсямесна

Печы для атрымання жалеза з руды былі шахтнага тыпу Яны выяўлены на некаторых гарадзішчах Цэнтральнай Беларусі Кімія Аздзяцічы, Свідна,

прыемаў ад моманту здабычы руды да вырабу жалезных прадметаў Не менш значным вынікам гэтых даследаванняў стала аргументацыя мясцовага характару чорнай металургіі У працах археолагаў міжваеннага перыяду абгрунтавана палажэнне, што плямены эпохі жалеза — гэта добра адаптаванае да прыродных умоў лясной зоны аседлае насельніцтва, асновай гаспадаркі якога стала земляробства і жывелагадоўля У працэсе разгляду пытанняў этнічнай гісторыі выказаны меркаванні аб прыналежнасці помнікаў Паўночнай і Сярэдняй Беларусі літоўскаму (балцкаму) насельніцтву (Ляўданскі, 1930 С 336, Дубінскі, 1927 С 363), а славяне з'явіліся на гэтай тэрыторыі толькі ў канцы 1-га тысячагоддзя н э Вынікі прац невялікай групы даваеннага пакалення археолагаў у сэнсе назапашвання археалагічных матэрыялаў, іх гістарычнай інтэрпрэтацыі і ўводу ў навуковае абарачэнне ўражваюць Безумоўна, з іх высокім прафесійным патэнцыялам яны маглі б зрабіць яшчэ вельмі і вельмі шмат, але лес не спрыяў ім Чырвонае кола палітычных рэпрэсій спыніла іх пленную працу ў самым росквіце Усе археолагі якія працавалі ў Акадэміі навук Беларусі і вывучалі праблемы эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча, загінулі ў 1937 г а большасць краязнаўцаў былі падвергнуты пераследу і вымушаны спыніць сваю працу (Вяргей, 1992)

Пасля другой сусветнай вайны вывучэнне гісторыі насельніцтва эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча паступова аднаўляецца У 1950—1960-я гады распачынаюць сістэматычныя палявыя даследаванні супрацоўнікі і аспіранты Інстытута гісторыі Акадэміі навук Беларусі А Р Мітрафанаў, Г В Штыхаў, Л Д Побаль, В Б Нікіціна (Караткевіч), К П Шут У гэты ж час на тэрыторыі рэспублікі раскопкі і разведкі праводзілі навукоўцы з археалагічных устаноў Ленінграда і Масквы — П М Траццякоў, Ю У Кухарэнка, В М Мельнікоўская, Э А Сымановіч, К В Каспарава, І П Русанава, Ф Д Гурэвіч, Л В Аляксееў

Пасляваенны час характарызуецца значным ростам маштабаў палявых даследаванняў, пашырэннем крыніцазнаўчай базы, удасканаленнем методыкі раскопачных прац Сістэматызацыя выяўленых матэрыялаў адбывалася шляхам вылучэння і апісання археалагічных культур, якія разглядаліся як пэўны этап сацыяльна-эканамічнай і этнічнай гісторыі старажытнага насельніцтва Здейснена археолага-культурная стратыфікацыя мноства крыніц, прасочаны змены і развіцце археалагічных культур на Беларусі ў 1-м тысячагоддзі да н э — 1-м тысячагоддзі н э Арэалы большасці даследуемых культур выходзілі за сучасныя межы Беларусі і разуменне іх спецыфікі стала магчымым толькі з улікам распрацовак археолагаў суседніх і больш далёкіх краін У выніку інтэнсіўнай і пленнай працы ў 1950—1970-х гадах былі вылучаны і ў рознай ступені ахарактарызаваны старажытнасці амаль усіх вядомых зараз на тэрыторыі Беларусі археалагічных культур жалезнага веку і ранняга сярэднявечча, а менавіта мілаградскай і зарубінецкай на поўдні Беларусі (Третьяков, 1959 С 119—153, Кухаренко, 1961, 1964, Мельниковская, 1967, Поболь, 1971—1974, Каспарова, 1969 С 131—168, Яна ж, 1976 С 128—140, Яна ж, 1981), культуры штрыхаванай керамікі (Митрофанов, 1955, 1978, Гуревич, 1962), днепра-дзвінскай (Митрофанов, 1955, Алексеев, 1959 С 273—315, Шут, 1966 С 168—182, Ён жа, 1969 С 262—289, Штыхов, 1971, Шміт, 1963, Ен жа, 1972 С 102—116, Ён жа, 1975), паморскай (Кухаренко, 1961, Никитина, 1964 С 43—47, Яна ж, 1965 С 194—205), кіеўскай (Поболь, 1969, Ён жа, 1974 С 159—180), вельбарскай (Кухаренко, 1961, 1980), калочынскай (Сымонович, 1963 С 97—137, Ен жа, 1975

УСТУП

У гэтым томе «Археалогіі Беларусі» на аснове археалагічных крыніц з выкарыстаннем, дзе гэта магчыма, дадзеных іншых навук асвятляецца гістарычнае развіццё старажытнага насельніцтва, якое насяляла тэрыторыю Беларусі ў эпоху жалеза (VIII—VII стст. да н. э. — IV—V стст. н. э.) і ранняга сярэднявечча (V—VI стст. — VIII—IX стст. н. э.). Пачатак жалезнага веку звязваюць з распаўсюджаннем металургіі жалеза і вырабаў з яго. Навыкамі вытворчасці і апрацоўкі жалеза ў першую чаргу авалодала насельніцтва Паўднёвай Беларусі, што адбывалася ў другой чвэрці 1-га тысячагоддзя да н. э., і толькі ў яго другой палове жалеза стала асноўным матэрыялам для вырабу прылад працы і зброі ў плямёнаў, якія насялялі цэнтральную і паўночную частку яе тэрыторыі. Шырокае распаўсюджанне на Беларусі балотных і азёрных руд, адносная прастата здабычы жалеза ў сырадутных домніцах садзейнічалі яго паўсюднаму пашырэнню. З'яўленне жалеза ў старажытных плямёнаў на тэрыторыі нашай краіны стала важнай вехай у іх гісторыі, яно значна паўплывала на характар матэрыяльнай культуры і гаспадаркі, стварыла вялікія магчымасці для новых тэхналагічных ідэй, практычна зраўняла шанцы ўсіх рэгіёнаў Еўропы на прагрэс у галіне вытворчасці. Асновай комплекснай гаспадаркі насельніцтва жалезнага веку сталі земляробства і жывёлагадоўля, узровень якіх дазволіў забяспечваць не толькі пэўны пражытачны мінімум, але і ствараць запасы сельскагаспадарчай прадукцыі, што стымулявала развіццё рамеснай вытворчасці, абмену і гандлю. Рост маёмасці ў асноўных груп насельніцтва прыводзіў да войнаў з мэтаю грабяжу і заняволення. Каб абараніць накопленае дабро і жыццё суродзічаў ад прагных да лёгкай здабычы суседзяў, насельніцтва ўмацоўвае свае паселішчы, абносіць іх земляныміваламі і равамі. Так узнікаюць гарадзішчы, якія становяцца асноўным тыпам паселішчаў на працягу амаль усёй эпохі жалеза. Сукупнасць археалагічных дадзеных дазваляе сцвярджаць, што старажытнае грамадства ў разглядаемы перыяд знаходзілася на стадыі разлажэння родавага ладу. Рост вытворчых магчымасцей комплекснай гаспадаркі, павелічэнне абмену, ваенная здабыча садзейнічалі ўзмацненню ролі асобных сем'яў і адасабленню родаплемянной вярхушкі. Нарастаючыя працэсы стратыфікацыі грамадства прыводзілі да ўскладнення сацыяльных адносін і сувязей. Эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча характарызуюцца складанымі этнакультурнымі працэсамі, якія адлюстраваліся ў значных перамяшчэннях плямёнаў, узаемадзеяннях розных этнічных груповак, знікненні адных і з'яўленні іншых археалагічных культур. Насельніцтва Беларусі не было ізаляваным, мела кантакты і сувязі з блізкімі і далёкімі народамі, адчувала і ўспрымала культурныя імпульсы, якія надыходзілі з боку Прычарнамор'я і Скіфіі, гальштацка-латэнскіх і правінцыяльна-рымскіх культур, Прыбалтыкі, Волга-Окскага рэгіёна і інш.

УСТУП

У гэтым томе «Археалогіі Беларусі» на аснове археалагічных крыніц з выкарыстаннем, дзе гэта магчыма, дадзеных іншых навук асвятляецца гістарычнае развіццё старажытнага насельніцтва, якое насяляла тэрыторыю Беларусі ў эпоху жалеза (VIII—VII стст. да н. э. — IV—V стст. н. э.) і ранняга сярэднявечча (V—VI стст. — VIII—IX стст. н. э.). Пачатак жалезнага веку звязваюць з распаўсюджаннем металургіі жалеза і вырабаў з яго. Навыкамі вытворчасці і апрацоўкі жалеза ў першую чаргу авалодала насельніцтва Паўднёвай Беларусі, што адбывалася ў другой чвэрці 1-га тысячагоддзя да н. э., і толькі ў яго другой палове жалеза стала асноўным матэрыялам для вырабу прылад працы і зброі ў плямёнаў, якія насялялі цэнтральную і паўночную частку яе тэрыторыі. Шырокае распаўсюджанне на Беларусі балотных і азёрных руд, адносная прастата здабычы жалеза ў сырадутных домніцах садзейнічалі яго паўсюднаму пашырэнню. З'яўленне жалеза ў старажытных плямёнаў на тэрыторыі нашай краіны стала важнай вехай у іх гісторыі, яно значна паўплывала на характар матэрыяльнай культуры і гаспадаркі, стварыла вялікія магчымасці для новых тэхналагічных ідэй, практычна зраўняла шанцы ўсіх рэгіёнаў Еўропы на прагрэс у галіне вытворчасці. Асновай комплекснай гаспадаркі насельніцтва жалезнага веку сталі земляробства і жывёлагадоўля, узровень якіх дазволіў забяспечваць не толькі пэўны пражытачны мінімум, але і ствараць запасы сельскагаспадарчай прадукцыі, што стымулявала развіццё рамеснай вытворчасці, абмену і гандлю. Рост маёмасці ў асноўных груп насельніцтва прыводзіў да войнаў з мэтаю грабяжу і заняволення. Каб абараніць накопленае дабро і жыццё суродзічаў ад прагных да лёгкай здабычы суседзяў, насельніцтва ўмацоўвае свае паселішчы, абносіць іх землянымі валамі і равамі. Так узнікаюць гарадзішчы, якія становяцца асноўным тыпам паселішчаў на працягу амаль усёй эпохі жалеза. Сукупнасць археалагічных дадзеных дазваляе сцвярджаць, што старажытнае грамадства ў разглядаемы перыяд знаходзілася на стадыі разлажэння родавага ладу. Рост вытворчых магчымасцей комплекснай гаспадаркі, павелічэнне абмену, ваенная здабыча садзейнічалі ўзмацненню ролі асобных сем'яў і адасабленню родаплемяннной вярхушкі. Нарастаючыя працэсы стратыфікацыі грамадства прыводзілі да ўскладнення сацыяльных адносін і сувязей. Эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча характарызуюцца складанымі этнакультурнымі працэсамі, якія адлюстраваліся ў значных перамяшчэннях плямёнаў, узаемадзеяннях розных этнічных груповак, знікненні адных і з'яўленні іншых археалагічных культур. Насельніцтва Беларусі не было ізаляваным, мела кантакты і сувязі з блізкімі і далёкімі народамі, адчувала і ўспрымала культурныя імпульсы, якія надыходзілі з боку Прычарнамор'я і Скіфіі, гальштацка-латэнскіх і правінцыяльна-рымскіх культур, Прыбалтыкі, Волга-Окскага рэгіёна і інш.

УСТУП

У гэтым томе «Археалогіі Беларусі» на аснове археалагічных крыніц з выкарыстаннем, дзе гэта магчыма, дадзеных іншых навук асвятляецца гістарычнае развіццё старажытнага насельніцтва, якое насяляла тэрыторыю Беларусі ў эпоху жалеза (VIII—VII стст. да н. э. — IV—V стст. н. э.) і ранняга сярэднявечча (V—VI стст. — VIII—IX стст. н. э.). Пачатак жалезнага веку звязваюць з распаўсюджаннем металургіі жалеза і вырабаў з яго. Навыкамі вытворчасці і апрацоўкі жалеза ў першую чаргу авалодала насельніцтва Паўднёвай Беларусі, што адбывалася ў другой чвэрці 1-га тысячагоддзя да н. э., і толькі ў яго другой палове жалеза стала асноўным матэрыялам для вырабу прылад працы і зброі ў плямёнаў, якія насялялі цэнтральную і паўночную частку яе тэрыторыі. Шырокае распаўсюджанне на Беларусі балотных і азёрных руд, адносная прастата здабычы жалеза ў сырадутных домніцах садзейнічалі яго паўсюднаму пашырэнню. З'яўленне жалеза ў старажытных плямёнаў на тэрыторыі нашай краіны стала важнай вехай у іх гісторыі, яно значна паўплывала на характар матэрыяльнай культуры і гаспадаркі, стварыла вялікія магчымасці для новых тэхналагічных ідэй, практычна зраўняла шанцы ўсіх рэгіёнаў Еўропы на прагрэс у галіне вытворчасці. Асновай комплекснай гаспадаркі насельніцтва жалезнага веку сталі земляробства і жывёлагадоўля, узровень якіх дазволіў забяспечваць не толькі пэўны пражытачны мінімум, але і ствараць запасы сельскагаспадарчай прадукцыі, што стымулявала развіццё рамеснай вытворчасці, абмену і гандлю. Рост маёмасці ў асноўных груп насельніцтва прыводзіў да войнаў з мэтаю грабяжу і заняволення. Каб абараніць накопленае дабро і жыццё суродзічаў ад прагных да лёгкай здабычы суседзяў, насельніцтва ўмацоўвае свае паселішчы, абносіць іх землянымі валамі і равамі. Так узнікаюць гарадзішчы, якія становяцца асноўным тыпам паселішчаў на працягу амаль усёй эпохі жалеза. Сукупнасць археалагічных дадзеных дазваляе сцвярджаць, што старажытнае грамадства ў разглядаемы перыяд знаходзілася на стадыі разлажэння родавага ладу. Рост вытворчых магчымасцей комплекснай гаспадаркі, павелічэнне абмену, ваенная здабыча садзейнічалі ўзмацненню ролі асобных сем'яў і адасабленню родаплемяннной вярхушкі. Нарастаючыя працэсы стратыфікацыі грамадства прыводзілі да ўскладнення сацыяльных адносін і сувязей. Эпохі жалеза і ранняга сярэднявечча характарызуюцца складанымі этнакультурнымі працэсамі, якія адлюстраваліся ў значных перамяшчэннях плямёнаў, узаемадзеяннях розных этнічных груповак, знікненні адных і з'яўленні іншых археалагічных культур. Насельніцтва Беларусі не было ізаляваным, мела кантакты і сувязі з блізкімі і далёкімі народамі, адчувала і ўспрымала культурныя імпульсы, якія надыходзілі з боку Прычарнамор'я і Скіфіі, гальштацка-латэнскіх і правінцыяльна-рымскіх культур, Прыбалтыкі, Волга-Окскага рэгіёна і інш.